

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA



TESIS

**“Aplicación web basado en internet de las cosas para medición
inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto
Maldonado, 2023”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE SISTEMAS
E INFORMÁTICA**

AUTORES:

Bach. BONIFACIO FERNANDEZ,
Roy Kevin

Bach. QUISPE ALVARO, Ruth Karina

ASESOR:

M.Sc. PRIETO LUNA, Jaime Cesar

CO-ASESOR:

Dr. HOLGADO APAZA, Luis Alberto

Puerto Maldonado, agosto 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA



TESIS

**“Aplicación web basado en internet de las cosas para medición
inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto
Maldonado, 2023”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE SISTEMAS
E INFORMÁTICA**

AUTORES:

Bach. BONIFACIO FERNANDEZ,
Roy Kevin

Bach. QUISPE ALVARO, Ruth Karina

ASESOR:

M.Sc. PRIETO LUNA, Jaime Cesar

CO-ASESOR:

Dr. HOLGADO APAZA, Luis Alberto

Puerto Maldonado, agosto 2025

DEDICATORIA

A Dios, por concederme la vida, la sabiduría y la fuerza para seguir adelante. A mi madre, Magdalena, por su amor, entrega y por ser el pilar fundamental en mi vida. A mi hermano Julio Cesar, por su apoyo incondicional, y a toda mi familia, por acompañarme con su cariño y confianza en cada etapa de este camino. Este logro es fruto de su presencia en mi vida.

BONIFACIO FERNANDEZ, Roy K.

Dedico esta tesis a mis padres, por su amor incondicional, esfuerzo constante y fe en mi capacidad incluso en los momentos más difíciles; a mi tutor(a), quien con sus consejos, paciencia y guía fortaleció mi crecimiento académico; y a mis seres queridos, cuya compañía, ánimo y comprensión hicieron posible este logro.

QUISPE ALVARO, Ruth Karina

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, en primer lugar, a Dios, por su infinita bondad, por darme la vida, salud y fuerza para continuar. A mi madre, mi hermano y mi familia, por su amor, apoyo constante y ejemplo de perseverancia. A mis amigos, por acompañarme con su ánimo y palabras sinceras en cada momento. A mis docentes, por compartir sus conocimientos y enseñanzas, y en especial al Mgt. Jaime César Prieto Luna, por su valiosa orientación y compromiso durante el desarrollo de esta tesis.

BONIFACIO FERNANDEZ, Roy K.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis asesores, por su guía profesional y paciencia constante; a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por brindarme recursos académicos y apoyo institucional durante todo el proceso; y a mi familia, especialmente a mis padres, por su amor incondicional, confianza y sacrificios silenciosos que me impulsaron a llegar hasta aquí. Dedico esta tesis a ellos, cuyo respaldo emocional, enseñanza y fe en mí siempre llevaron adelante este sueño.

QUISPE ALVARO, Ruth Karina

TURNITIN_ROY BONIFACIO & RUTH QUISPE

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repository.uaeh.edu.mx

Fuente de Internet

1%

2

www.mecamex.net

Fuente de Internet

1%

3

Submitted to Universidad Nacional
Amazonica de Madre de Dios

Trabajo del estudiante

1%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de tesis titulado “Aplicación web basada en IoT para medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado, 2023” surge como respuesta a los problemas de escasez de agua y estrés hídrico, los cuales representan una seria amenaza para la población mundial. Ante el crecimiento poblacional y la urbanización, una posible solución es avanzar hacia ciudades que incorporen tecnologías inteligentes, lo cual puede lograrse mediante el uso del Internet de las Cosas (IoT). El agua constituye uno de los recursos vitales para la existencia de la vida humana, por lo que su medición inteligente desempeña un papel fundamental en el desarrollo de una ciudad inteligente. El IoT, en conjunto con el análisis predictivo, contribuye a materializar este concepto, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos. La lectura manual tradicional de medidores de agua es un proceso que consume mucho tiempo y recursos, además de ser ineficiente para la gestión sostenible del recurso hídrico. Este método carece de técnicas de seguimiento eficaces, precisas y confiables, necesarias tanto para las empresas prestadoras de servicios públicos como para los consumidores, quienes requieren información en tiempo real sobre el nivel de consumo. Los medidores inteligentes de agua operan en tiempo real, pueden ser monitoreados por los usuarios y representan un componente clave dentro de un sistema moderno de gestión del agua. La implementación de una medición inteligente permite que los usuarios tomen conciencia de su consumo y adopten prácticas que contribuyan a la reducción del uso del recurso. Además, facilita la detección de consumos anómalos, lo que ayuda a reducir las pérdidas de agua y a promover un uso más responsable y sostenible.

Bach. BONIFACIO FERNANDEZ,
Roy Kevin
Bach. QUISPE ALVARO, Ruth Karina

RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática de la gestión del agua en la ciudad de Puerto Maldonado, caracterizada por procesos de medición manual que son ineficientes y propensos a imprecisiones. Para solucionar esto, se diseñó, desarrolló y validó una aplicación web basada en el Internet de las Cosas (IoT) para la medición inteligente del consumo de agua en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tambopata (EMAPAT S.A.). El sistema implementado se fundamenta en una arquitectura que integra sensores de flujo de agua con tecnología LoRaWAN para la transmisión de datos en tiempo real a un servidor con base de datos PostgreSQL. La aplicación web, desarrollada con tecnologías como React y Next.js, permite a los usuarios y administradores monitorear el consumo de agua, visualizar históricos, generar reportes, recibir alertas por consumos anómalos y gestionar pagos en línea. La metodología de desarrollo empleada fue un modelo híbrido que combina Scrum y XP, adaptándose a las necesidades de un equipo reducido y un proyecto de alta complejidad técnica. Los resultados demostraron la viabilidad y eficiencia del sistema, logrando una transmisión de datos con una latencia mínima inferior a 10 segundos. La comparación entre el medidor inteligente y el convencional arrojó una diferencia mínima, validando la precisión del sensor IoT.

Palabras claves: Medición inteligente de agua, Internet de las Cosas (IoT), aplicación web, LoRaWAN, gestión de recursos hídricos, sensores de flujo.

ABSTRACT

This research addresses the problem of water management in the city of Puerto Maldonado, which is characterized by manual measurement processes that are inefficient and prone to inaccuracies. To solve this, a web application based on the Internet of Things (IoT) was designed, developed, and validated for the intelligent measurement of water consumption at the Municipal Company of Potable Water and Sewerage of Tambopata (EMAPAT S.A.). The implemented system is based on an architecture that integrates water flow sensors with LoRaWAN technology for real-time data transmission to a server with a PostgreSQL database. The web application, developed with technologies such as React and Next.js, allows users and administrators to monitor water consumption, view historical data, generate reports, receive alerts for anomalous consumption, and manage online payments. The development methodology used was a hybrid model combining Scrum and XP, adapting to the needs of a small team and a project of high technical complexity. The results demonstrated the system's viability and efficiency, achieving data transmission with a minimal latency of less than 10 seconds. The comparison between the smart meter and the conventional meter showed a minimal difference, thus validating the accuracy of the IoT sensor.

Key words: Smart water metering, Internet of Things (IoT), web application, LoRaWAN, water resource management, flow sensors

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, los gobiernos, las industrias y los investigadores han mostrado un interés creciente en incorporar técnicas inteligentes, incluido el monitoreo de sensores, la transmisión de datos en tiempo real y el control en tiempo real en los sistemas de agua (Li, Yang, Sitzenfrei 2020).

El crecimiento excesivo de la población causará problemas urgentes de agua como la escasez de agua y la degradación de la calidad del agua en las zonas urbanas. En el siglo XXI, el sector mundial del agua se enfrenta a desafíos de calidad y cantidad, que están muy relacionados con el cambio climático y el crecimiento de la población (Butler et al. 2014).

De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible incluidos en la Agenda 2030 suscrita por 193 países miembros de la ONU, una de las metas esperadas es la mejora de la Gestión del Agua a través de prácticas sostenibles y eficientes. En el caso del agua, “Smart” consiste en hacer inteligente el abastecimiento y distribución de agua con tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) para permitir la conexión y comunicación recíproca con otras partes de la planta y la ciudad. Los sistemas de agua inteligentes utilizan sensores activados por el IoT para recopilar datos en tiempo real y generar el denominado “Digital twin”, que es el gemelo digital de las infraestructuras físicas presentes en la zona y permite una gestión moderna y optimizada (Ray, Goswami 2020).

Las Naciones Unidas menciona que el agua no potable y el saneamiento escaso son las principales causas de muerte en el mundo, la escasez de agua potable y saneamientos inadecuados produce la muerte de 1,5 millones de seres humanos al año (NACIONES UNIDAS 2021). Las últimas estimaciones muestran que 3 de cada 10 personas en todo el mundo no pudieron lavarse las manos con agua y jabón durante la pandemia de COVID-19, no obstante, advierten que para el año 2030 miles de millones de personas se quedarían sin acceso a los servicios básicos (OMS 2022).

En nuestro país, el 2020 el 68.2% de la población accedió a agua mediante la red pública y 22.6% consumió agua no potable (INEI 2020). En la ciudad de Puerto Maldonado la empresa prestadora de servicio EMAPAT estima que

para 2040 la demanda del consumo de agua aumentará de 128 a 226 litros por segundo, la medición del agua consumida se realiza mediante la micro medición (EMAPAT 2010).

El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos:

Capítulo I: Se realiza un análisis de la situación actual de la EPS EMAPAT S.A., tomando como punto referencial el servicio de agua al usuario, con el fin de efectuar un adecuado análisis de datos. En este capítulo se presenta de forma general el planteamiento del problema, para luego analizar sus consecuencias y determinar la necesidad de implementar una guía que permita mejorar el servicio. Asimismo, se consideran las variables involucradas en el proyecto de investigación.

Capítulo II: En este capítulo se define el marco teórico, donde se exponen los antecedentes relacionados con la investigación, las bases teóricas y el marco conceptual que sustentan el desarrollo del proyecto.

Capítulo III: Se detalla la metodología de la investigación, estableciendo el tipo y diseño del estudio, así como la población y muestra. También se describen los métodos y técnicas empleados, además de los recursos y el presupuesto requeridos para el desarrollo e implementación del proyecto. Finalmente, se presentan las sugerencias, las referencias bibliográficas que respaldan la obtención de información y los anexos, dentro de los cuales se incluye la matriz de consistencia.

Capítulo IV: Se presentan los resultados de la investigación, detallando el desarrollo de la aplicación web basada en IoT para la medición inteligente del agua. Se exponen los resultados de la implementación de la red de comunicación LoRaWAN para la transmisión de datos y se comparan los valores de precisión entre la medición del sensor inteligente y el medidor convencional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

PRESENTACIÓN

RESUMEN

ABSTRACT

Índice de Tablas

Índice de Figuras

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1.Descripción del problema	1
1.2.Formulación del problema	3
1.3.Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4.Variable de la investigación	4
1.5.Operacionalización de variables	4
1.6.Hipótesis	5
1.6.1. Hipótesis general	5
1.6.2. Hipótesis específicas	5
1.7.Justificación	5
1.8.Consideraciones éticas	6
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1.Antecedentes de la investigación	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales	10
2.2.Marco Teórico	12
2.3.Definición de términos	15
CAPITULO III. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.1.Tipo de estudio	18
3.2.Diseño del estudio	18
3.3.Población y muestra	18
3.4.Métodos y técnicas	19
3.5.Tratamiento de los datos	21

CAPITULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
4.1.Desarrollo de la aplicación web basado en IoT para la medición inteligente del agua	22
4.2.Impacto de LoRaWAN en la Transmisión de Datos	54
4.3.Comparación de la precisión de la medición inteligente del agua	56
CONCLUSIONES.....	58
SUGERENCIAS	59
ANEXOS.....	67
Anexo 1. Matriz de Operacionalización de las variables	
Anexo 2. Matriz de consistencia	
Anexo 3. Reporte de Recolección de Datos Generado por el Sistema Web	
Anexo 3. Instrumentos de recolección de datos	
Anexo 4. Evidencia Fotográfica de la Instalación del Sensor en Campo	

Índice de Tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables	4
Tabla 2. Asignación de Roles y Responsabilidades en el Equipo Scrum	25
Tabla 3. Requisito de registro de usuario para la administración del sistema (Gerente EMAPAT)	27
Tabla 4. Requisito de registro de usuario para clientes de EMAPAT	27
Tabla 5. Requisito de consulta del historial de consumo de agua	27
Tabla 6. Requisito de alertas sobre el consumo de agua	27
Tabla 7. Requisito de consulta detallada del historial de consumo de agua	28
Tabla 8. Requisito de exportación de datos de consumo para el gerente	28
Tabla 09. Historias de Usuario del Administrador del Sistema (EPS EMAPAT S.A.)	29
Tabla 10. Historias de Usuario de los Clientes de EMAPAT S.A.....	29
Tabla 11. Historias de Usuario del Técnico de Mantenimiento de Sensores	29
Tabla 12. Historias de Usuario de los Desarrolladores de la API	30
Tabla 13. Historias de Usuario de los responsables de Reportes y Análisis (Gerentes de EMAPAT S.A.)	30
Tabla 14. Estructura de la Tabla Account	35
Tabla 15. Estructura de la Tabla Invoice	36
Tabla 16. Estructura de la Tabla Location	36
Tabla 17. Estructura de la Tabla Maps	37
Tabla 18. Estructura de la Tabla Payment	37
Tabla 19. Estructura de la Tabla Role	37
Tabla 20. Estructura de la Tabla Sensor	38
Tabla 21. Estructura de la Tabla Session.....	38
Tabla 22. Estructura de la Tabla Tarifa	39
Tabla 23. Estructura de la Tabla User.....	39
Tabla 24. Estructura de la Tabla VerificationToken	40
Tabla 25. Estructura de la Tabla WaterConsumption	40
Tabla 26. Comparación entre los valores de medición de consumo de agua	56

Tabla 27. Estadísticas descriptivas de la medición de consumo de agua: Medidor Convencional vs. Medidor IoT	57
--	----

Índice de Figuras

Figura 1. Arquitectura del sistema basado en IoT para medición de consumo de agua.....	20
Figura 2. Ciclo de trabajo de la metodología híbrida XP-Scrum.....	23
Figura 3. Caso de usos del administrador	32
Figura 4. Caso de usos del Usuario	34
Figura 5. Caso de usos del Usuario	34
Figura 6. Diagrama de secuencia del sistema.....	42
Figura 7. Interfaz de inicio de sesión	43
Figura 8. Interfaz de dashboard principal	44
Figura 9. Interfaz de perfil de usuario	45
Figura 10. Interfaz de vista de gestión de usuarios	46
Figura 11. Interfaz de vista de roles para administradores	46
Figura 12. Interfaz de vista de ubicación de sensores y registro	47
Figura 13. Interfaz de gestión de tarifas.....	48
Figura 14. Interfaz de gestión de sensores	49
Figura 15. Interfaz de gestión de recibos	50
Figura 16. Interfaz de gestión de recibos	51
Figura 17. Interfaz de configuración de alarmas.....	52
Figura 18. Interfaz de historial de alarmas	53

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

El agua, como recurso natural fundamental, es vital para la supervivencia de la vida en nuestro planeta. Sin embargo, las fugas y el uso inadecuado de este valioso recurso son causas significativas de escasez de agua en diversas regiones del mundo. Desde esta perspectiva, las tecnologías que posibilitan el monitoreo del consumo de agua y la detección remota de fugas desempeñan un papel crucial. Estas tecnologías permiten alertar a los usuarios sobre posibles problemas y, además, posibilitan la interrupción remota de la distribución de agua en caso necesario. En consecuencia, estas herramientas tienen el potencial de reducir costos y prevenir el derroche de este recurso natural esencial (Paula, Gomes 2019).

La rápida urbanización y el crecimiento de la población han generado un problema importante en el monitoreo del uso del agua en nuestra sociedad. Una solución para controlar, analizar y reducir el consumo de agua en los hogares es el uso de tecnologías inteligentes eficientes en el uso del agua, que han surgido gracias al concepto de Internet de las cosas (IoT). Estas tecnologías permiten establecer dispositivos, sistemas y aplicaciones que monitorean el consumo de agua y detectan fugas de manera remota, alertan a los usuarios y permiten la interrupción de la distribución de agua. Algunas de estas tecnologías incluyen la reutilización de aguas grises, la instalación de contadores inteligentes, la instalación de sistemas de recirculación de agua caliente y la instalación de sistemas de control automático para el consumo de agua residencial basado en reglas. Además, es importante que los usuarios conozcan su propio consumo de agua y establezcan nuevos hábitos de consumo en sus hogares para reducir el caudal del agua y detectar fugas o disfunciones en los aparatos sanitarios y domésticos (AL-Madhrabi et al. 2021)

Según el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, en 2050 más del 50% de la población mundial sufrirá una gran escasez de agua (Gupta et al. 2020).

Las empresas encargadas de la distribución y facturación de agua enfrentan desafíos significativos relacionados con la realización de lecturas manuales periódicas. Estas tareas pueden propiciar imprecisiones en los registros contables de los clientes al concluir cada ciclo de facturación (Villacís-Guerrero et al. 2022).

Según los datos proporcionados por SEDAPAL, el consumo de agua potable en Lima muestra una variación significativa entre los distritos con una marcada presencia empresarial, donde alcanza hasta 243 litros por habitante al día, y los distritos densamente poblados, donde no supera los 120 litros por persona diariamente (SEDAPAL 2022). Por otro lado, en Puerto Maldonado, la facturación del servicio de agua potable se lleva a cabo mediante un proceso de medición manual, que implica la lectura directa de los dispositivos de medición instalados en cada conexión de agua potable en los hogares (EMAPAT 2019).

En este contexto, es crucial señalar que el consumo del servicio de agua no se monitorea en tiempo real; en cambio, se realiza mediante mediciones manuales en cada medidor. Por consiguiente, se plantea este proyecto con el objetivo de mejorar el proceso de medición del consumo de agua potable.

Las tecnologías que permiten la supervisión remota del consumo de agua y la detección de posibles fugas, junto con la capacidad de notificar a los usuarios y regular la distribución de agua, desempeñan un papel fundamental en la reducción de costos y la prevención del desperdicio de este recurso natural invaluable. Este enfoque ha demostrado su eficacia en el ámbito de los edificios inteligentes y puede implementarse con facilidad en otros entornos afines (Paula, Gomes 2019).

En este contexto, el proyecto de tesis tiene como objetivo principal el diseño, construcción y validación de una aplicación web destinada al monitoreo remoto del consumo de agua en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Puerto Maldonado S.A. (EMAPAT S.A.). La implementación de dicha aplicación permitirá a la empresa mejorar significativamente la

eficiencia en la gestión del recurso hídrico, así como optimizar los procesos de control y monitoreo de la distribución de este recurso vital en la ciudad de Puerto Maldonado.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la aplicación web basado en IoT influirá en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado?

1.2.2. Problemas específicos

- 1) ¿Cómo el desarrollo de una aplicación web basado en IoT influirá en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado?
- 2) ¿Cómo una red de comunicación LoRaWAN influirá en la transmisión de datos de la medición inteligente a un servidor de red?
- 3) ¿Qué diferencias existen entre la medición del consumo de agua con el medidor convencional y empleando el nodo sensor de flujo de agua?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la aplicación web basado en IoT influye en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado

1.3.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar una aplicación web basado en IoT para la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado.
2. Implementar una red de comunicación LoRaWAN para la transmisión de datos de la medición inteligente a un servidor de red.

3. Comparar la medición del consumo de agua con el medidor convencional y empleando el nodo sensor de flujo de agua.

1.4. Variables de la investigación

Variable independiente: Aplicación web basado en IoT

Variable dependiente: Medición inteligente del agua

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Aplicación web basada en IoT	Las aplicaciones web se puede definir como una aplicación en la cual un usuario por medio de un navegador realiza peticiones a una aplicación remota accesible a través de Internet y que recibe una respuesta que se muestra en el propio navegador (Luján Mora 2002). Una aplicación web basada en el Internet de las cosas (IoT) utiliza dispositivos y sensores conectados para recopilar, procesar y presentar datos a través de una interfaz web.	Rendimiento	- Prueba de carga - Prueba de estrés
Variable dependiente: Medición inteligente del agua	La medición inteligente del agua permite determinar en tiempo real o casi real el consumo de agua y ofrece la posibilidad de leer el consumo tanto a nivel local como a distancia (Boyle et al. 2013)	Técnicas Datos Conectividad	- Caudal de agua - Fuente de energía - Frecuencia de medición - Volumen acumulado - Velocidad de transmisión - Frecuencia de transmisión

Fuente: Elaboración propia.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La aplicación web basado en IoT influye significativamente en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado.

1.6.2. Hipótesis específicas

- 1) El desarrollo de una aplicación web basado en IoT influye significativamente en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado.
- 2) La implementación de una red de comunicación LoRaWAN influye significativamente en la transmisión de datos de la medición inteligente a un servidor de red.
- 3) La medición del consumo de agua con el medidor convencional tiene más limitaciones que empleando el nodo sensor de flujo de agua.

1.7. Justificación

1.7.1. Relevancia Social

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental, sin embargo, muchas comunidades enfrentan desafíos en la gestión eficiente y sostenible de este recurso vital. Con una aplicación web basada en IoT para la medición inteligente del agua, se pueden implementar sistemas de monitoreo en tiempo real que proporcionen información precisa sobre el consumo, la calidad y la disponibilidad del agua. Esto permite a las autoridades y a los usuarios tomar decisiones informadas para optimizar el uso del agua y garantizar su acceso equitativo, mejorando así la calidad de vida de las comunidades.

1.7.2. Impacto Económico

La gestión ineficiente del agua puede tener un costo significativo para las economías locales y globales. Con una aplicación web basada en IoT, se pueden identificar oportunidades de ahorro y eficiencia en el consumo de

agua, lo que puede conducir a una reducción de costos tanto para los hogares como para las empresas. Además, al optimizar el uso del agua en la agricultura y la industria, se puede aumentar la productividad y la rentabilidad de estos sectores, contribuyendo al crecimiento económico sostenible.

1.7.3. Impacto ambiental

La sobreexplotación y la contaminación del agua son problemas ambientales graves que afectan a los ecosistemas acuáticos y a la biodiversidad. Al implementar sistemas de medición inteligente del agua, se pueden detectar y prevenir de manera temprana posibles eventos de contaminación o escasez, permitiendo una respuesta rápida y eficaz para proteger los recursos hídricos. Además, al fomentar un uso más eficiente del agua, se reduce la presión sobre los ecosistemas y se promueve la conservación de la naturaleza para las generaciones futuras.

Esta justificación destaca cómo una aplicación web basada en IoT para la medición inteligente del agua puede tener un impacto positivo en la sociedad, la economía y el medio ambiente, abordando así importantes desafíos relacionados con la gestión del agua.

1.8. Consideraciones éticas

En el desarrollo de este proyecto se estimó cumplir los principios éticos y resguardar la seguridad y confidencialidad de la información recopilada y de los actores involucrados en esta investigación.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

En su estudio (Morales et al. 2023) implementaron un sistema de monitoreo remoto basado en el protocolo LoRaWAN de consumo de agua, este sistema comienza con el diseño e implementación de un sensor de flujo para una línea hidráulica específica que permita la consulta en tiempo real a través de un panel dentro de la plataforma Things Board. Tiene como objetivo implementar un sistema IoT LoRaWAN para el monitoreo de variables de interés en el Instituto Tecnológico de la Paz. La arquitectura cuenta con una interfaz web en la cual un panel facilita la visualización de los datos del sensor de consumo de agua. La implementación incluye un microcontrolador 02 ESP32 con radio LoRa como nodo, un sensor de flujo de agua conectado a la red hidráulica del Instituto Tecnológico de La Paz, la configuración de una estación base (Gateway LoRaWAN) basado en un Raspberry Pi que envía los datos al servidor de red The Things Stack y la plataforma ThingsBoard Cloud como servidor de aplicación. Se realizaron pruebas para observar el desempeño de la comunicación del sistema LoRaWAN en escenarios con obstáculos por infraestructura, los resultados de la intensidad de la señal recibida de los paquetes en distintas localizaciones de prueba muestran una alta resistencia a la interferencia y ruido, por lo que es posible ubicar nodos dentro y fuera de edificios en la Institución.

En su investigación Ray y Goswami (2020) plantearon el desarrollo de un Sistema de Medición Inteligente de Agua basado en IoT y Computación en la Nube. Este sistema tiene la capacidad de distinguir entre el uso normal y excesivo del agua en diversos sectores, incluyendo el industrial, doméstico y otros con un alto consumo hídrico. El objetivo principal es gestionar de forma eficiente el uso del agua para las generaciones futuras. En su arquitectura, se

emplearon componentes clave como el Esp8266 y el sensor de flujo YF-S201, junto con la plataforma en la nube ThingSpeak. Estos sensores monitorean los datos hidráulicos en tiempo real, permitiendo el control automatizado y la activación de alarmas desde la plataforma en la nube. Gracias a la información recopilada, se logra registrar, visualizar gráficamente y analizar los patrones de flujo en cada una de las tuberías de agua. Además, el prototipo es sostenible, ya que utiliza paneles solares para la transmisión en tiempo real de los datos hacia la nube.

En su estudio Al-Ali et al. (2018) se centraron en el desarrollo de un medidor de servicios inteligente basado en IoT para monitorear el consumo de electricidad, agua y gas. El objetivo principal fue diseñar y probar un medidor de servicios inteligente integrado basado en IoT. La arquitectura de hardware del sistema incluye circuitos para los contadores de agua, energía y gas, así como Raspberry Pi 3 y una computadora que actúa como servidor de aplicaciones. Este sistema permitió a las empresas de servicios públicos gestionar el flujo de servicio y el consumo de los medidores de manera eficiente. El medidor pudo registrar los consumos de electricidad, agua y gas, transmitiendo luego estas lecturas al servidor de la empresa de servicios públicos con una precisión del 97%, lo que facilitó su posterior análisis y procesamiento.

Sarraf et al. (2020) llevaron a cabo la implementación de un sistema inteligente de gestión de la calidad del agua basado en IoT, el cual facilitó la realización de lecturas automatizadas de medidores de agua y la facturación correspondiente en la distribución del recurso hídrico. Este enfoque de medición inteligente en la distribución de agua resulta especialmente adecuado para países con recursos limitados en infraestructura. Para su ejecución, se utilizó un Raspberry Pi 3 junto con sensores de pH, flujo de agua y nivel de agua. Los datos generados fueron accesibles a través de una interfaz web desde cualquier ubicación del mundo. Este sistema ha demostrado eficiencia en términos de costo, precisión y velocidad, al mismo tiempo que reduce la necesidad de recursos humanos.

Mauro et al. (2020) desarrollaron un sistema IoT capaz de realizar lecturas en tiempo real del consumo final de agua residencial con el fin de generar una

base de datos de series temporales y aplicar técnicas de desagregación para perfilar los comportamientos de los usuarios. El objetivo principal fue establecer una plataforma para monitorear y recopilar datos sobre el consumo de agua residencial en la ciudad de Nápoles. La arquitectura del sistema se compone de tres elementos principales: un sensor de flujo YF-S201, un microcontrolador ESP32 y un sistema de gestión de contenido (CMS). Esta arquitectura implementada logró detectar, recolectar y almacenar automáticamente los datos, así como realizar la desagregación del consumo doméstico de agua para identificar cómo, dónde y cuándo los usuarios utilizan el agua en sus hogares.

Yang et al. (2017) se centraron en el monitoreo del consumo doméstico de agua e intervención en el comportamiento mediante el empleo de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT). El objetivo consistió en monitorear el consumo de agua de los electrodomésticos domésticos y registrar dicho consumo en tiempo real. En su arquitectura, se emplearon un servidor central remoto, sensores de caudal y temperatura del agua, un router WiFi y una pasarela WiFi. El servidor central remoto se encarga de recibir los datos de los múltiples sistemas de detección inalámbricos domésticos, recopilando así datos sobre el consumo de agua en cada aparato de cada hogar. Se logró adoptar medidas técnicas como la mejora de la red, la reparación de fugas, el desarrollo de electrodomésticos eficientes en el uso del agua y la concientización sobre la capacidad de cambiar los hábitos de consumo.

Abdul Aziz et al. (2022) desarrollaron un sistema eficiente de contadores de agua inteligentes basado en IoT para el entorno de las ciudades inteligentes. El objetivo principal fue implementar y analizar un algoritmo de recopilación de datos eficiente para aplicaciones de medición inteligente basadas en IoT. Para ello, se utilizó el Arduino Uno, el módulo Wi-Fi ESP8266, sensores de flujo de agua y un algoritmo eficiente de recopilación de datos para contadores de agua (EDCDWM), diseñado para reducir el número de transmisiones de paquetes. La implementación del sistema se llevó a cabo utilizando el software Arduino, mientras que la simulación y el análisis se realizaron mediante MATLAB R2019b.

El porcentaje medio de energía ahorrada por los algoritmos aplicados, como EDCDWM cambio absoluto y EDCDWM con diferencias relativas, en todos los nodos fue del 60% y 93%, respectivamente.

En su estudio Arsene et al. (2022) presentaron estrategias avanzadas para la monitorización de los patrones de consumo de agua en hogares, basadas en tecnologías de IoT y aprendizaje automático. El objetivo principal fue identificar estos patrones y determinar las fuentes de consumo de agua a partir de datos recopilados, empleando tanto métodos de aprendizaje supervisado como no supervisado. En este estudio, se utilizó una placa de desarrollo NodeMCU ESP8266, comunicación Wi-Fi, un sensor de flujo de agua YF-S201, un bróker de mensajería MQTT, la plataforma Firebase y una aplicación móvil. Los datos obtenidos revelaron que el consumo de agua se distribuía en cuatro tipos de salidas: los inodoros representaron el mayor consumo de agua (1.716 L), seguidos del agua caliente del grifo (699 L), el agua de la ducha (357 L) y, por último, el agua fría del grifo (335 L).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En su investigación (Morales-Alvarez et al. 2023) propuso un sistema de monitoreo y control remoto de la distribución de agua utilizando tecnología LoRaWAN, con el fin de gestionar eficazmente el recurso hídrico y realizar análisis gráficos para la toma de decisiones basadas en datos históricos. Para la implementación de este sistema, se emplearon un sensor de flujo, un Gateway, Arduino, ESP8266 y un módulo Dragino LoRa. Los datos recopilados se visualizan a través de una interfaz web. Los resultados obtenidos permitieron concluir que el uso de la tecnología LoRa proporcionó registros precisos de flujo y la capacidad de controlar de forma remota el cierre y apertura de tramos de la red en caso de situaciones no deseadas. Esta tecnología se distingue por su largo alcance y su eficiencia energética, lo que garantiza un consumo mínimo de energía durante las transmisiones entre el nodo y el Gateway implementado.

La tesis de Henry (2021) titulada "Sistema de medición inteligente de consumo de agua en hogares utilizando IoT y Cloud Computing" tuvo como objetivo principal implementar un sistema de medición inteligente basado en una

arquitectura de IoT y Cloud Computing, con la capacidad de detectar fugas de agua en hogares con alta precisión y visualizar los consumos de agua en tiempo real. En la arquitectura del sistema se emplearon un sensor de flujo G3/4, ESP8266 y Raspberry Pi 3 Model B+, junto con la herramienta de programación Node-Red para la conexión de dispositivos. El algoritmo de detección de fugas fue sometido a 604 casos de prueba, tanto normales como anómalos, demostrando la capacidad de detectar todas las situaciones de fugas con una precisión del 100%. Se destacó por su exactitud, exhaustividad, precisión y valor F1, superando así a otros algoritmos de detección de fugas disponibles.

En su investigación Bamonde Checa y Pulache Gomez (2021) desarrollaron un sistema de control de consumo de agua doméstico centrado en Internet de las Cosas (IoT). Se recopilaron datos a través de sensores, los cuales fueron posteriormente registrados, procesados y utilizados para gestionar el cierre de la conexión de agua según los resultados de consumo obtenidos. Se logró implementar una tecnología automatizada y escalable que permitió una gestión eficaz del agua y el control de actuadores mediante el monitoreo de los resultados de los sensores. Esto garantizó la reducción del consumo excesivo de agua y, al mismo tiempo, la disminución de los costos en servicios relacionados. La solución tecnológica tuvo un impacto positivo, ya que propuso una reducción promedio diaria de 34.8 litros por domicilio y un ahorro de S/ 1.80 soles en la tarifa mensual, manteniendo el rango de 1.77 propuesto por la SUNASS.

El estudio llevado a cabo por (Caceres Valcarcel, Ayachi Malaga 2021) presenta el desarrollo de un sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) diseñado para el monitoreo del consumo de energía eléctrica en el ámbito doméstico. El prototipo del sistema consiste en la interconexión de dispositivos como el módulo PZEM 004T, el transformador de corriente en bobina PZCT-02 y la placa Wemos D1, equipada con un chip ESP8266 para la conexión a Internet a través de Wi-Fi. Este sistema permite medir corriente, voltaje, potencia y energía consumida, los datos recopilados son enviados a la plataforma Firebase para su almacenamiento y procesamiento. Posteriormente, la información es presentada de manera intuitiva tanto en una

aplicación móvil para el usuario final como en una página web para el usuario administrador, quien tiene la capacidad de gestionar usuarios, dispositivos y tarifas. Los resultados obtenidos muestran que no existen diferencias significativas en las mediciones entre el medidor convencional y el medidor Ccapy en cuanto a su media, con un nivel de confianza del 95%. Los valores obtenidos para el medidor convencional oscilan entre una media de 4.885 ± 0.1719 , una varianza de 0.477, una desviación estándar de 0.6909 y valores máximo y mínimo de 6.8 y 3.0 respectivamente. Mientras que para el medidor Ccapy, la media es de 4.892 ± 0.1719 , con una varianza de 0.931, una desviación estándar de 0.9647, y valores máximo y mínimo de 6.9 y 2.3 respectivamente.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Aplicación web

Una aplicación web es un programa informático que opera a través del navegador web. Las organizaciones necesitan intercambiar datos y ofrecer servicios de manera remota, y recurren a aplicaciones web para establecer comunicación segura con sus clientes. Las características habituales de los sitios web, como carritos de compra, búsqueda y filtrado de productos, mensajería instantánea y feeds de redes sociales, comparten el mismo diseño que las aplicaciones web. Estas aplicaciones permiten acceder a funciones avanzadas sin requerir la instalación o configuración de software adicional (Amazon Web Service 2023).

Las aplicaciones web se puede definir como una aplicación en la cual un usuario por medio de un navegador realiza peticiones a una aplicación remota accesible a través de Internet (o a través de una intranet) y que recibe una respuesta que se muestra en el propio navegador (Luján Mora 2002).

2.2.2. Internet de las Cosas (IoT)

Internet de las cosas (IoT) se refiere a una tecnología basada en objetos cotidianos que se conectan a Internet para intercambiar, agregar y procesar información sobre su entorno físico para brindar servicios de valor agregado a los usuarios finales. También puede identificar eventos o cambios y dichos

sistemas pueden reaccionar de forma autónoma y adecuada. Por tanto, su propósito es proporcionar una infraestructura que supere las barreras entre los objetos del mundo físico y su representación en los sistemas de información, tiene la capacidad de cambiar en gran medida la vida de las personas, ayudando a simplificar la existencia humana en cada vez más aspectos que se han estudiado recientemente, como el control del suministro del hogar, la vigilancia de la salud o la mejora de la seguridad de los trabajadores (Barrio Andrés 2020).

2.2.3. Medición inteligente del agua

Una medición inteligente del agua es un medidor del agua normal conectado a un dispositivo que permite la lectura electrónica continua y la visualización del consumo de agua (Davidson, Idris 2006).

2.2.4. El agua

El agua es un líquido claro y sin color, sin olor ni sabor cuando está en su forma pura. Sus moléculas consisten en dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno y es el componente más común en la superficie de la tierra, así como el principal constituyente en la superficie de la tierra, así como el principal constituyente de los seres vivos (Carbajal Azcona, González Fernández 2012).

2.2.5. Consumo del agua

La distribución de agua potable a la población lo realizan empresas públicas de agua. Sin embargo, existen grandes diferencias entre las categorías de uso del agua consideradas: los datos publicados sobre el suministro de agua potable a menudo contienen entregas de agua a hogares privados; en otros casos, estas cifras incluyen también el suministro de agua potable a empresas comerciales y de servicios de pequeña escala y al sector público militar, escuelas, hospitales y administración pública (Bank, Caribe, Monterrey 2018).

2.2.6. HTML

El lenguaje HTML, es el tercer componente sobre el que se basa el servicio web. Este lenguaje, facilita mediante el uso de etiquetas - marcas o tags, la inclusión, en los documentos publicados, de textos, tablas, imágenes, audio, video, enlaces u otros recursos (Pérez Rodríguez 2012).

2.2.7. CSS

El lenguaje CSS (Cascading Style Sheets) es un lenguaje de marcado de presentación dedicado a la elaboración de páginas web. Está diseñado para permitir la separación del contenido, proporcionar más flexibilidad y control en la especificación de las características de presentaciones (Fernández Casado 2023).

2.2.8. Java Script

Es un lenguaje de secuencias de comandos interpretados, es una de las tecnologías principales de la World Wide Web Foundation (Flórez Fernández, Hernández Rodríguez 2021).

2.2.9. PHP

Es un lenguaje de programación de código abierto que permite incorporar HTML el cual se usa principalmente para aplicaciones web dinámicas, se interpreta en un explorador mediante Apache el cual actúa como servidor de aplicaciones (Flórez Fernández, Hernández Rodríguez 2021) .

2.2.10. Patrón de diseño arquitectónico MVC

El patrón arquitectónico Modelo Vista Controlador (MVC) es uno de los más usados en informática. Se utiliza en la creación de la mayoría de aplicaciones web. Este diseño arquitectónico simplifica el proceso de desarrollo de una aplicación bien estructurada, separa la interfaz de usuario de la lógica de negocio, así pues, es posible el desarrollo de una aplicación eficiente, estable, escalable y fácil de personalizar (Adam, Andolo 2019). Este patrón de diseño se abstrae en tres partes: modelo, vista y controlador.

- El modelo funciona como un contenedor que encapsula los datos básicos, relaciones lógicas y las reglas de negocio de la aplicación. Contesta a cualquier solicitud, sea del controlador o de la vista.
- La vista es la interfaz de la aplicación que es visualizada por los clientes e interactúa con ellos. El controlador cargará una vista en el navegador en base a la solicitud del cliente.
- El controlador es el procesamiento de la solicitud del cliente. Solicita los datos del modelo y carga la vista respectiva (Huang y Zhang, 2008).

En la presente investigación se utiliza el patrón de diseño MVC considerando su fácil implementación al desarrollar aplicaciones de pequeña escala y su versatilidad al momento de personalizar la capa del lado del cliente. Además, el uso de tantos modelos como sean necesarios permite que la codificación sea sencilla de leer y comprender facilitando su corrección. Por otro lado, es posible reutilizar plantillas para las vistas y ahorrar una considerable cantidad de tiempo, así también se acopla a frameworks de estilo para brindar un aspecto más agradable al usuario (L.F. Santiago González et al. 2021).

2.2.11. Base de datos

Una base de datos es un conjunto de datos almacenados en memoria externa que están organizados mediante una estructura de datos. Cada base de datos ha sido diseñada para satisfacer los requisitos de información de una empresa u otro tipo de organización (Marquez 2013).

2.3. Definición de términos

2.3.1. SW3L LoRaWAN Outdoor Flow Senso

El SW3L LoRaWAN Outdoor Flow Sensor es un sensor de flujo de agua diseñado para medir el volumen de agua consumido y transmitir estos datos a través de una red LoRaWAN. Este sensor está equipado con una batería industrial de 8500 mAh que garantiza un funcionamiento prolongado de hasta 10 años, dependiendo del entorno de uso y la frecuencia de actualización. El SW3L puede enviar información del volumen de flujo de agua cada 20 minutos y generar alertas en caso de detectar fugas o desperdicio de agua, como en el caso de una fuga en un inodoro. El sensor está diseñado para funcionar en

interiores y exteriores, con una carcasa resistente a la intemperie que soporta diversas condiciones climáticas. Cada unidad del SW3L incluye un conjunto de claves únicas para su registro en la red LoRaWAN, lo que facilita su integración y configuración. Además, es compatible con el protocolo LoRaWAN v1.0.3 Clase A, y permite la configuración remota de parámetros mediante comandos AT (Dragino Technology Co. 2010).

2.3.2. TTN (The Things Network)

The Things Network (TTN) es una red global y abierta que permite la interconexión de dispositivos IoT utilizando tecnología LoRaWAN. Proporciona una infraestructura descentralizada que facilita la comunicación de dispositivos a larga distancia y con bajo consumo de energía (The Things Network 2014).

2.3.3. Gateway

Un Gateway es un dispositivo que actúa como intermediario entre los sensores IoT y la red principal. Recoge los datos de los dispositivos conectados y los transmite a un servidor, permitiendo su gestión centralizada (Sanchez-Iborra, Cano 2016) .

2.3.4. RAK7258 WisGate Edge Lite

El RAK7258 WisGate Edge Lite es un Gateway de 8 canales para redes IoT basado en LoRaWAN v1.0.3 que permite la conexión de sensores IoT a través de Ethernet, Wi-Fi y Power-over-Ethernet (PoE), facilitando su instalación sin cables de alimentación adicionales. Utiliza el sistema operativo OpenWRT, que ofrece una interfaz gráfica para configuración rápida y flexible, y soporta el modo de puente MQTT, garantizando una comunicación segura mediante cifrado TLS. Este Gateway puede operar como servidor privado (Chirpstack) o conectarse a servidores públicos como The Things Network (TTN). Su cobertura alcanza hasta 15 kilómetros en línea de vista (LoS) y más de 2 kilómetros en entornos urbanos, haciéndolo ideal para aplicaciones de monitoreo ambiental, gestión de recursos hídricos y automatización de infraestructuras (*RAK7258 WisGate Edge Lite Datasheet*).

2.3.5. React

React es una biblioteca de JavaScript desarrollada por Meta que facilita la creación de interfaces de usuario interactivas en aplicaciones web. Permite construir componentes reutilizables y optimiza la actualización dinámica de contenido sin recargar la página (Chen et al. 2019) .

2.3.6. Next.js

Next.js es un framework de desarrollo web basado en React que permite crear aplicaciones tanto estáticas como dinámicas. Ofrece ventajas como el renderizado del lado del servidor (SSR) y la generación de sitios estáticos (SSG), mejorando el rendimiento y la optimización SEO (*Analyzing the Impact of Next.JS on Site Performance and SEO* 2023) .

2.3.7. Vercel

Vercel es una plataforma para el despliegue de aplicaciones web, optimizada para proyectos desarrollados con Next.js. Permite una implementación rápida y eficiente, garantizando un alto rendimiento y disponibilidad (Next.js on Vercel 2015).

2.3.8. HSTS (HTTP Strict Transport Security)

HSTS es una política de seguridad web que obliga a los navegadores a utilizar exclusivamente conexiones HTTPS, protegiendo la privacidad de los usuarios y evitando ataques como el "Man-in-the-Middle" (Kranich, Bonneau 2015).

2.3.9. Recharts

Recharts es una biblioteca de gráficos para React que facilita la creación de visualizaciones de datos interactivas y personalizables, ideal para aplicaciones que requieren análisis de datos (recharts 2015) .

2.3.10. Tailwind CSS

Tailwind CSS es un framework de diseño basado en clases utilitarias que permite crear interfaces de usuario personalizadas de manera rápida, manteniendo un diseño limpio y coherente (Dixit et al. 2024) .

CAPITULO III. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

La presente investigación se clasifica como aplicada, dado que su objetivo radica en la transformación del conocimiento teórico proveniente de la investigación básica en conceptos, prototipos y productos, siguiendo una secuencia lógica (Lozada 2014). Por consiguiente, este estudio adopta un enfoque aplicado, centrado en la búsqueda de soluciones prácticas para abordar problemas que impactan directamente en la sociedad (Teodoro Nicomedes 2018).

3.2. Diseño del estudio

El diseño de la investigación adoptará un enfoque descriptivo comparativo, lo que implica la recopilación de información detallada sobre los elementos bajo estudio, seguida de una comparación para identificar similitudes, diferencias y patrones (Sampieri, Collado y Maria del Pilar, 2014).

3.3. Población y muestra

La población es un conjunto de elementos, ya sea finito o infinito, que comparten características comunes y sobre los cuales se extenderán las conclusiones de la investigación (Pujadas 2017). En esta investigación, la población está conformada por el conjunto completo de datos recopilados durante el proceso de monitoreo en tiempo real del consumo de agua en un punto georreferenciado de la ciudad de Puerto Maldonado, específicamente en la Av. Apurímac, Tambopata, utilizando un sensor Dragino SW3L LoRaWAN Outdoor Flow Sensor. Los datos corresponden a las mediciones de consumo de agua (en litros y metros cúbicos) registradas por el sensor, el cual envía información cada 2 horas.

La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que debe definirse y delimitarse con precisión, además de ser representativo de la población (Sampieri, Collado, Maria del Pilar 2014). En este estudio, se implementó un método de muestreo censal, lo que implica que se incluyó el 100% de los datos recopilados durante el periodo de monitoreo, eliminando cualquier sesgo de selección.

El periodo de monitoreo fue de 10 días, registrándose un total de 72 mediciones diarias, lo que equivale a 172 registros. Esta muestra abarca la totalidad de las observaciones generadas por el sensor, garantizando que cada lectura capturada sea considerada en el análisis. Esta estrategia fue fundamental para evaluar con precisión el comportamiento del consumo de agua en el punto seleccionado, asegurando un análisis exhaustivo y representativo de la realidad observada.

3.4. Métodos y técnicas

El sistema diseñado para la medición inteligente del consumo de agua se fundamenta en una arquitectura basada en Internet de las Cosas (IoT), que permite la recolección, transmisión, almacenamiento y visualización de datos en tiempo real. Este sistema se estructura en cuatro capas funcionales, cada una con una función específica para garantizar la eficiencia del proceso:

- **Capa de Adquisición de Datos (Sensor Inteligente)**

La primera capa está compuesta por un sensor de flujo de agua (caudalímetro) que permite medir el volumen de agua consumido. Este dispositivo está equipado con un módulo LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), una tecnología de comunicación inalámbrica que permite transmitir los datos capturados a largas distancias, utilizando muy poca energía.

- **Capa de Comunicación (Red LoRaWAN)**

La segunda capa corresponde a la red LoRaWAN, que actúa como medio de transmisión para los datos capturados por el sensor. Esta red envía las lecturas del caudalímetro a un Gateway LoRaWAN, que opera como puente entre los sensores y la infraestructura de almacenamiento.

El uso de LoRaWAN garantiza una comunicación eficiente y estable, incluso en entornos con baja cobertura de red.

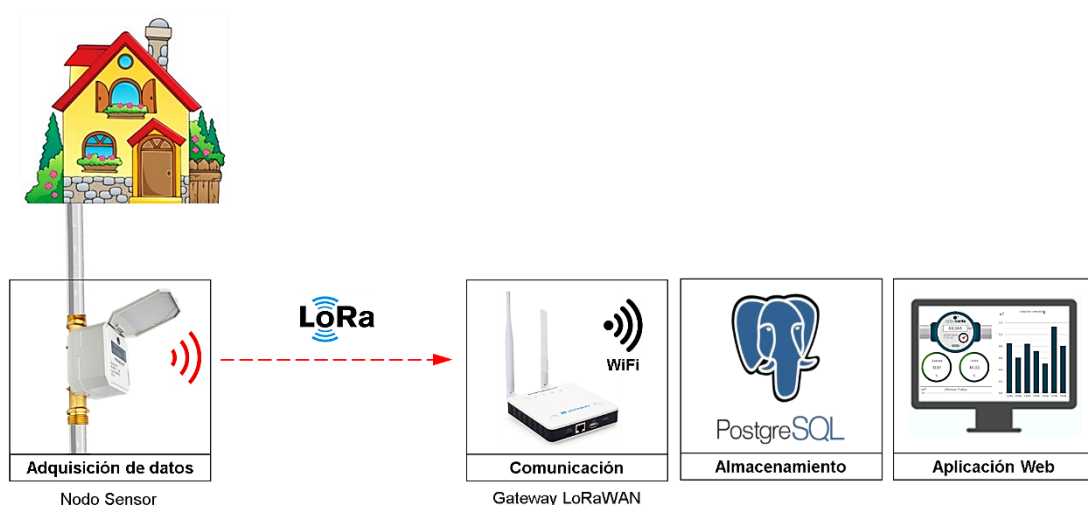
- **Capa de Gestión y Almacenamiento (Base de Datos PostgreSQL)**

La tercera capa está destinada a la gestión y almacenamiento de los datos transmitidos. En esta investigación, se emplea una base de datos PostgreSQL, una plataforma de gestión de bases de datos relacional conocida por su robustez, seguridad y escalabilidad. PostgreSQL permite almacenar de manera estructurada las mediciones de consumo de agua, conservando tanto los registros actuales como los históricos, lo que facilita su consulta y análisis posterior.

- **Capa de Visualización y Monitoreo (Aplicación Web)**

La cuarta capa se enfoca en la visualización de los datos a través de una aplicación web. Esta interfaz permite a los usuarios observar el consumo de agua en tiempo real, así como consultar los históricos almacenados. La aplicación incluye un dashboard interactivo, que presenta la información tanto en valores numéricos como en gráficos, permitiendo un análisis visual claro y accesible.

Figura 1. *Arquitectura del sistema basado en IoT para medición de consumo de agua*



Fuente: Elaboración propia

En el caso de las mediciones actuales del consumo del agua que se realizan de forma manual, se empleará una ficha de registro diseñada para el presente estudio.

3.5. Tratamiento de los datos

Los datos de medición inteligente del agua serán recolectados a través de un módulo LoRaWAN, que permitirá la transmisión de las mediciones hacia un servidor con base de datos PostgreSQL, donde serán almacenados de manera segura y ordenada. Estos datos serán posteriormente utilizados en una aplicación web, que permitirá su visualización y análisis, tanto descriptivo como inferencial.

Para la prueba de hipótesis, se compararán los valores de la variable dependiente (Medición inteligente del agua) obtenidos mediante dos métodos: el método tradicional de medición manual y el método basado en el sistema de medición inteligente. Para este propósito, se calculará la media aritmética de los registros obtenidos con cada método, permitiendo identificar posibles diferencias significativas en los valores medidos.

CAPITULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a partir de la implementación de la aplicación web IoT para la medición inteligente del agua en EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado.

4.1. Desarrollo de la aplicación web basado en IoT para la medición inteligente del agua

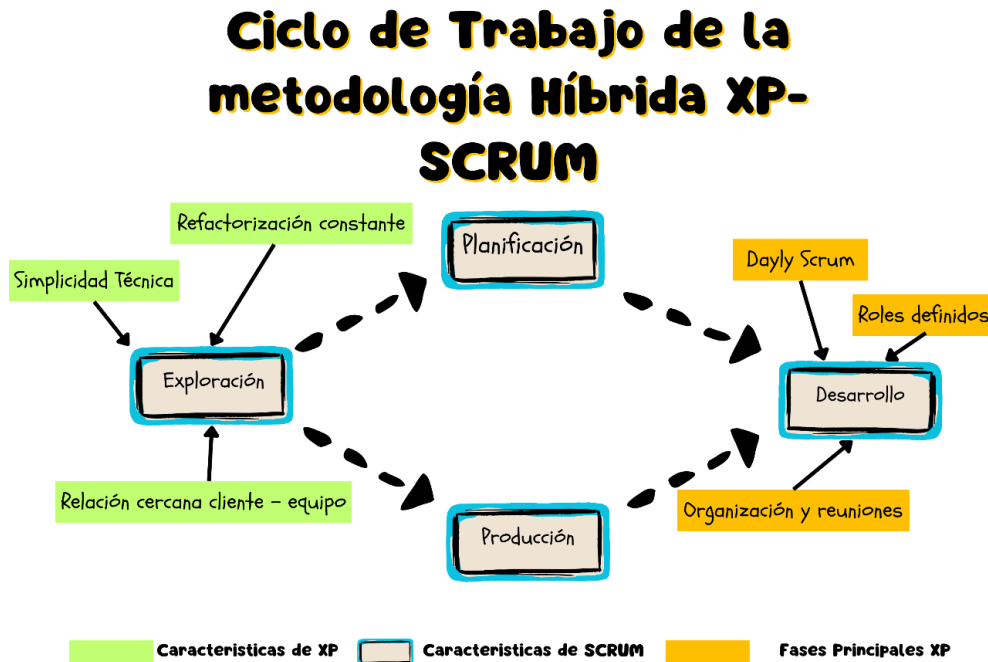
Para el desarrollo del proyecto se utilizó una metodología híbrida entre Scrum y XP, la cual combina características específicas de cada metodología, incluyendo artefactos, reuniones, iteraciones y roles.

En primera instancia, este modelo híbrido utiliza las fases e iteraciones propias de XP (exploración, planificación, desarrollo y producción) junto con la asignación de roles característica de Scrum (Scrum Master, Product Owner, Equipo Técnico, Clientes Internos y Stakeholders). Además, se integran otras características adicionales de cada metodología para abordar las necesidades particulares del proyecto.

Se eligió este modelo híbrido debido a su versatilidad y practicidad, considerando la orientación de cada metodología. Scrum se destaca por su énfasis en la organización de reuniones, documentación y asignación de roles dentro del equipo de desarrollo, mientras que XP pone el foco en la simplicidad técnica, limpieza, refactorización del código y en establecer una relación sólida entre el cliente y el equipo de desarrollo. En esta investigación, altamente técnico y con un equipo de desarrollo reducido, se decidió adoptar únicamente las características necesarias y descartar aquellas menos relevantes, como ciertas reuniones propias de Scrum que resultan más útiles en equipos de trabajo numerosos, pero que no aportan valor significativo en un equipo pequeño.

La siguiente figura ilustra el ciclo de trabajo de esta metodología híbrida, detallando las características aplicables de cada metodología:

Figura 2. Ciclo de trabajo de la metodología híbrida XP-Scrum



Fuente: Elaboración propia.

Fases de XP: Se implementan las cuatro fases principales: exploración, planificación, desarrollo y producción, lo que garantiza un enfoque iterativo y enfocado en la calidad técnica del producto.

Roles de Scrum: Se asignan roles como Scrum Master y Product Owner para mantener la organización y la comunicación dentro del equipo y con los stakeholders.

Características adicionales:

Daily Scrum: Este evento, clave en Scrum, se considera el más importante para el seguimiento diario y la coordinación del equipo. Aunque XP no tiene un equivalente, su inclusión asegura la sincronización constante del equipo.

Refactorización constante: Propia de XP, esta práctica asegura que el código sea limpio, mantenible y que permita adaptarse rápidamente a cambios o mejoras técnicas.

Este enfoque fue elegido por su capacidad para combinar la estructura organizativa de Scrum con las prácticas técnicas de XP, lo que resulta ideal

para un proyecto de alta complejidad técnica como este. La metodología permite gestionar eficazmente el desarrollo de la aplicación, manteniendo la calidad del código y asegurando la satisfacción de los usuarios finales, todo ello dentro de un marco ágil adaptado a un equipo pequeño.

4.1.1. Características Aplicables de XP

Diseño Simple: XP pone un fuerte énfasis en mantener el código lo más simple posible, enfocándose en las funcionalidades realmente necesarias y evitando complicaciones innecesarias. Esto podría ayudarte a mantener tu aplicación eficiente y fácilmente mantenible.

Refactorización Continua: XP sugiere hacer cambios continuos en el código para mejorarlo y mantenerlo limpio. Esto es vital para asegurarse de que tu aplicación pueda evolucionar fácilmente con nuevos requisitos o cambios en la tecnología.

Integración Continua: Implementar integración continua permite que cada cambio en el código se pruebe automáticamente, asegurando que las nuevas adiciones no rompan las funcionalidades existentes.

Pruebas: XP enfatiza la importancia de diferentes tipos de pruebas, especialmente las pruebas unitarias, que ayudan a verificar que cada parte del sistema funcione correctamente antes de su integración.

4.1.2. Características Aplicables de Scrum

Roles Definidos: Scrum establece tres roles esenciales: Product Owner, Scrum Master y Equipo de Desarrollo. Esta definición clara de responsabilidades fomenta una mejor organización, facilita la toma de decisiones y reduce conflictos internos.

Daily Scrum (Reunión Diaria): Una breve reunión diaria en la que el equipo sincroniza sus avances, identifica obstáculos y planifica las próximas tareas. Esta práctica mejora la comunicación y permite una rápida detección de desviaciones en el desarrollo.

Organización y Reuniones: Scrum estructura el proyecto en eventos clave como Sprint Planning, Sprint Review y Retrospective, promoviendo una cultura de inspección, adaptación y mejora continua. Estas reuniones

garantizan que el producto evolucione con calidad y responda a las necesidades del cliente.

Sprints con Timeboxing: El trabajo se organiza en iteraciones cortas y regulares llamadas sprints, lo cual permite entregas frecuentes de valor y mayor control del progreso. Esta cadencia fija también facilita la medición de productividad y predicción de entregas.

Entrega de Incrementos Funcionales: Al final de cada sprint, el equipo entrega un incremento del producto listo para ser potencialmente liberado. Esto asegura entregas constantes, alineadas con las prioridades del negocio.

4.1.3. Implementación de la metodología híbrida XP y SCRUM

Para la fase de asignación de roles, se planteó la distribución de los roles según el marco de trabajo Scrum, los cuales son fundamentales para asegurar un proceso ágil y eficiente. En este enfoque, los roles son asignados de acuerdo con las responsabilidades específicas que cada miembro debe cumplir dentro del equipo. Los roles principales del marco Scrum son los siguientes:

- **Scrum Master:** Facilita la implementación de Scrum y elimina impedimentos que puedan afectar al equipo.
- **Product Owner:** Responsable de maximizar el valor del producto y gestionar el Product Backlog.
- **Equipo de Desarrollo:** Profesionales que trabajan en la entrega de incrementos del producto durante cada sprint.

La distribución de los roles para la presente investigación se especifica en la siguiente tabla:

Tabla 2. *Asignación de Roles y Responsabilidades en el Equipo Scrum*

Propietario del Producto	Representante designado			Priorizar funcionalidades, tomar decisiones sobre los requisitos
Scrum Master	Roy Fernandez	Kevin	Bonifacio	Facilitar procesos SCRUM, resolver impedimentos, asegurar prácticas ágiles
Scrum Team	Roy Fernandez Quispe Alvaro	Kevin y Ruth	Bonifacio Karina	Diseñar, desarrollar y probar la plataforma web y el sistema IoT

Fuente: Elaboración propia.

Roles secundarios

Para los roles secundarios en Scrum se consideraron los siguientes roles:

1. **Clientes internos (Personal de Operaciones y Mantenimiento):** Los técnicos encargados de la instalación, mantenimiento y reparación de la infraestructura tecnológica. Este equipo dependerá de la aplicación para monitorear el funcionamiento de los sistemas de medición, detectar fallas y asegurar que los servicios estén en funcionamiento de manera continua.
2. **Stakeholders (Clientes de la EPS EMAPAT S.A.):** Las personas que consumen el servicio de agua proporcionado por la empresa, ya que la aplicación web de medición inteligente tendrá un impacto directo en la calidad del servicio y en la gestión del recurso hídrico.

4.1.4. Identificación de los Requisitos de Exploración

Para la identificación de los requisitos en el proyecto se organizaron una serie de reuniones con los principales stakeholders y expertos del proyecto, con el fin de obtener las ideas generales y necesidades específicas que guiaron el desarrollo de la solución. Estas reuniones fueron fundamentales para definir los requisitos iniciales antes de avanzar con la creación de las historias de usuario, permitiendo obtener una visión clara sobre las funcionalidades y prioridades de la aplicación.

Durante las sesiones de exploración, participaron los gerentes encargados de las áreas operativas, así como algunos responsables de la parte administrativa de EPS EMAPAT S.A. A través de este proceso, se lograron identificar los requisitos más pertinentes e importantes para el éxito del proyecto, teniendo en cuenta los objetivos operacionales, técnicos y estratégicos de la empresa.

Requisito de registro de usuario para la administración de consumo (EMAPAT)

Tabla 3. *Requisito de registro de usuario para la administración del sistema (Gerente EMAPAT)*

COMO	Gerente
QUIERO	ADMINISTRAR EL SISTEMA
PARA	Garantizar que solo el personal autorizado tenga acceso al sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Requisito de registro de usuario (Cliente EMAPAT)

Tabla 4. *Requisito de registro de usuario para clientes de EMAPAT*

COMO	Usuario
QUIERO	Ver mi registro de consumo
PARA	Tener acceso seguro y preciso a mi información de consumo.

Fuente: Elaboración propia.

Requisito de consulta histórica del consumo de agua

Tabla 5. *Requisito de consulta del historial de consumo de agua*

COMO	Usuario
QUIERO	Ver mi historial de consumo de agua
PARA	Poder analizar mi consumo a lo largo del tiempo para mejorar mis hábitos de uso.

Fuente: Elaboración propia.

Requisito de alertas sobre consumo de agua

Tabla 6. *Requisito de alertas sobre el consumo de agua*

COMO	Usuario
QUIERO	Recibir alertas cuando mi consumo de agua alcance un umbral definido
PARA	Ser notificado en tiempo real para poder ajustar mi consumo

Fuente: Elaboración propia.

Requisito de visualización detallada de consumo de agua por períodos

Tabla 7. *Requisito de consulta detallada del historial de consumo de agua*

COMO	Usuario
QUIERO	Ver mi consumo de agua desglosado por días, semanas o meses
PARA	Tener una visión clara y organizada de cómo varía mi consumo

Fuente: Elaboración propia.

Requisito de exportación de datos de consumo

Tabla 8. *Requisito de exportación de datos de consumo para el gerente*

COMO	Gerente
QUIERO	Poder exportar los datos de consumo de agua a formatos como Excel o PDF
PARA	Analizar los informes exportables en formatos como PDF o Excel, para poder presentarlos a los stakeholders externos o internos.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Identificación de las historias de usuario

La identificación de las historias de usuario resulta fundamental para comprender las necesidades de los distintos stakeholders (clientes) durante el desarrollo del sistema. Estas historias constituyen una herramienta que permite definir cómo interactúan con la aplicación y cuáles son sus expectativas o requerimientos.

Administrador del Sistema (EPS EMAPAT S.A.)

Tabla 09. *Historias de Usuario del Administrador del Sistema (EPS EMAPAT S.A.)*

ROL	Historia del Usuario	Objetivo
Administrador del Sistema (EPS EMAPAT S.A.)	Visualizar en tiempo real los datos de consumo de todos los usuarios <u>registrados</u>	Gestionar el recurso hídrico de manera eficiente
	Recibir notificaciones automáticas si algún sensor está fallando o si hay niveles anómalos	Tomar medidas correctivas de inmediato
	Generar reportes históricos de consumo	Evaluar tendencias de uso y tomar decisiones sobre la distribución de agua

Fuente: Elaboración propia.

Usuarios de la Aplicación (Clientes de EMAPAT S.A.)

Tabla 10. *Historias de Usuario de los Clientes de EMAPAT S.A.*

ROL	Historia del Usuario	Objetivo
Usuarios de la Aplicación (Clientes)	Ver mi consumo de agua en tiempo real desde la aplicación web	Controlar mi uso y evitar desperdicios
	Recibir alertas si mi consumo de agua supera un límite establecido	Tomar acciones para reducirlo
	Acceder a un historial de mi consumo de agua	Analizar los patrones de uso y hacer ajustes si es necesario

Fuente: Elaboración propia.

Técnico de Mantenimiento de Sensores

Tabla 11. *Historias de Usuario del Técnico de Mantenimiento de Sensores*

ROL	Historia del Usuario	Objetivo
Técnico de Mantenimiento de Sensores	Acceder a los datos de los sensores	Diagnosticar problemas rápidamente y realizar mantenimiento preventivo o correctivo
	Recibir alertas si un sensor está fallando o requiere calibración	Minimizar tiempos de inactividad, asegurar precisión de datos y

		detectar anomalías en el consumo
--	--	----------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

Desarrolladores de la API

Tabla 12. *Historias de Usuario de los Desarrolladores de la API*

ROL	Historia del Usuario	Objetivo
Desarrolladores de la API	Tener acceso a documentación detallada sobre cómo integrar los sensores de medición de agua	Garantizar que los datos fluyan correctamente hacia el sistema
	Asegurar que la API sea escalable y soporte muchos dispositivos conectados sin fallos	Mantener un funcionamiento estable del sistema

Fuente: Elaboración propia.

Responsables de Reportes y Análisis (Gerentes de EMAPAT S.A.):

Tabla 13. *Historias de Usuario de los responsables de Reportes y Análisis (Gerentes de EMAPAT S.A.)*

ROL	Historia del Usuario	Objetivo
Responsables de Reportes y Análisis (Gerentes)	Obtener informes detallados sobre el consumo de agua en distintas zonas	Tomar decisiones estratégicas sobre la distribución y gestión del agua
	Exportar informes en formatos como PDF o Excel	Presentarlos a los stakeholders externos o internos

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. Desarrollo de la aplicación web basada en IoT

El sistema permite el monitoreo en tiempo real, la gestión de datos históricos, la generación de reportes automáticos y el envío de alertas al usuario ante consumos inusuales o excesivos.

La arquitectura de la plataforma se basa en tecnologías modernas de desarrollo web, priorizando la escalabilidad, velocidad de respuesta y experiencia de usuario. A continuación, se detallan los principales componentes y herramientas empleadas en su construcción.

Frameworks y lenguajes utilizados

- JavaScript (ECMAScript 2022) como lenguaje base.
- **React:** Librería principal para la construcción de interfaces de usuario.
- **Next.js (v14.2.7):** Framework para React que facilita el renderizado del lado del servidor (SSR), generación de sitios estáticos y gestión de rutas. Se empleó tanto como framework de desarrollo como servidor web.
- **Tailwind CSS y shadcn/ui:** Frameworks de diseño y estilos para componentes reutilizables.
- **Radix UI:** Librería para el desarrollo de componentes de interfaz.

Visualización de datos y componentes gráficos

- **Recharts:** Librería JavaScript utilizada para la generación de gráficos de barras, líneas y pastel, que permiten representar en tiempo real los datos de consumo de agua por usuario.
- **Mapbox GL JS:** Herramienta para la representación geográfica del sistema de distribución y ubicación de los sensores en el mapa de la ciudad.

Plataforma de despliegue y servicios externos

- **Vercel:** Plataforma PaaS utilizada para el despliegue automático de la aplicación web, con integración directa con Next.js.
- **Stripe:** Servicio externo implementado como procesador de pagos para facilitar el acceso a servicios vinculados a la facturación electrónica.

Seguridad y rendimiento

- **HSTS (HTTP Strict Transport Security):** Política de seguridad activa que fuerza el uso de conexiones seguras (HTTPS) para proteger la transmisión de datos sensibles.
- **Webpack:** Utilizado como empaquetador de módulos para optimizar la entrega del código al navegador.
- **Priority Hints:** Estrategia de rendimiento empleada para priorizar la carga de recursos críticos (imágenes, scripts y hojas de estilo).

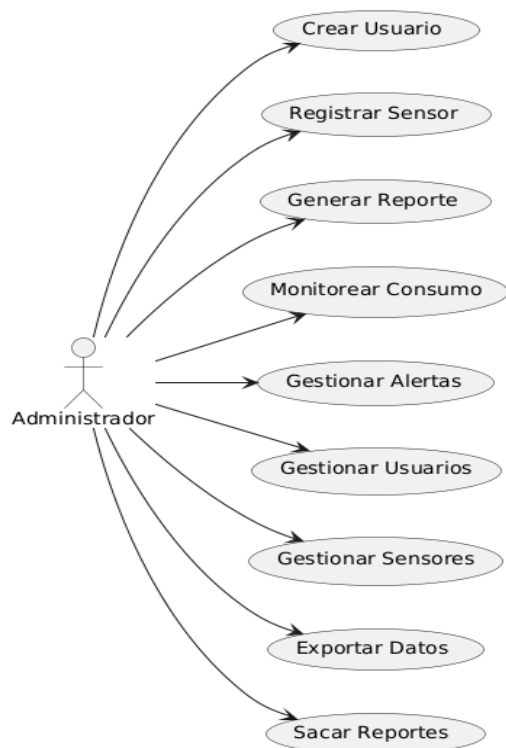
Diseño del sistema

Diagrama de Casos de Uso: Administrador

El administrador es el usuario responsable de gestionar y supervisar el funcionamiento general del sistema. En el presente diagrama se representan las acciones que este actor puede realizar dentro de la plataforma, las cuales son fundamentales para garantizar la operatividad del sistema y el correcto manejo de los datos obtenidos por los sensores inteligentes.

Entre sus principales funciones se encuentran la administración de usuarios, el registro y configuración de sensores, el monitoreo del consumo de agua, la atención de alertas generadas por el sistema, y la elaboración de reportes que apoyan la toma de decisiones técnicas y operativas.

Figura 3. Caso de usos del administrador



Fuente: Elaboración propia.

Las funcionalidades que se le asignan se detallan a continuación:

- **Crear usuario:** Permite registrar nuevos usuarios en el sistema y asignarles permisos de acceso según su rol.
- **Registrar sensor:** Añade sensores de medición al sistema para su integración con la red IoT.

- **Generar reporte:** Crea informes a partir de los datos recolectados, permitiendo visualizar tendencias o incidencias.
- **Monitorear consumo:** Ofrece una vista en tiempo real del uso del recurso hídrico, captado por los sensores instalados.
- **Gestionar alertas:** Administra las notificaciones generadas automáticamente ante situaciones fuera de los parámetros normales.
- **Gestionar usuarios:** Actualiza o elimina información de usuarios registrados en la plataforma.
- **Gestionar sensores:** Permite modificar, desactivar o retirar sensores según sea necesario.
- **Exportar datos:** Facilita la descarga de información en distintos formatos para análisis o respaldo.
- **Sacar reportes:** Genera reportes personalizados con base en filtros específicos definidos por el administrador.

Estas acciones permiten un control completo del sistema, asegurando su correcto funcionamiento y contribuyendo directamente a mejorar la gestión del servicio de agua potable. Además, fortalecen la capacidad de la empresa para tomar decisiones basadas en datos en tiempo real y optimizar sus procesos operativos.

Diagrama de Casos de Uso: Usuario

El siguiente diagrama representa las funciones que puede realizar el Usuario dentro del sistema. Este actor corresponde a las personas que acceden a la plataforma para consultar su información de consumo, recibir notificaciones y gestionar su servicio.

El sistema ha sido diseñado para ofrecer una experiencia clara, útil y accesible al usuario final, brindándole herramientas para monitorear su consumo y tomar decisiones informadas sobre su uso del recurso hídrico.

Las funcionalidades disponibles para el usuario son:

- **Ver consumo:** Permite consultar el consumo de agua en tiempo real registrado por los sensores.
- **Recibir alertas:** El usuario recibe notificaciones sobre consumos anormales, fugas u otros eventos relevantes.

- Pagar factura: Opción que enlaza con la plataforma de pagos para realizar el abono por el servicio prestado.
- Ver historial de consumo: Muestra registros anteriores de consumo, permitiendo comparar el uso entre diferentes periodos.
- Exportar datos de consumo: Brinda la posibilidad de descargar su información en formatos accesibles para su análisis personal.

Estas funciones permiten que el usuario tenga mayor control sobre su consumo, fomentando el uso responsable del agua y mejorando la comunicación con la empresa prestadora del servicio.

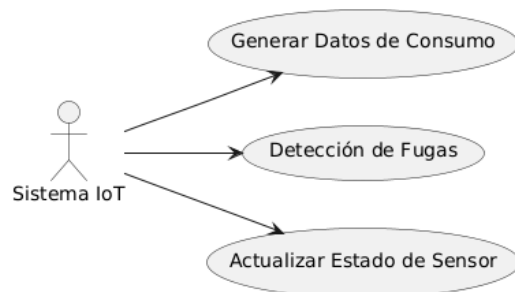
Figura 4. Caso de usos del Usuario



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de Casos de Uso: Sistema IoT

Figura 5. Caso de usos del Usuario



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama De Base De Datos

Diccionario de datos

El diccionario de datos permite organizar y describir de forma clara cómo está estructurada la base de datos del sistema. Aquí se detallan las tablas principales que se utilizan en la aplicación, explicando qué tipo de información almacena cada columna, el tipo de dato que se usa y para qué sirve dentro del funcionamiento general.

Contar con esta documentación ayuda a que cualquier persona que trabaje con el sistema ya sea desarrollador, técnico o futuro responsable del mantenimiento pueda entender mejor cómo están contruidos y relacionados los datos. Además, es clave para mantener orden, coherencia y control en el manejo de la información.

Tabla Account

Esta tabla almacena la información relacionada con las cuentas de usuario registradas en el sistema. Incluye datos como el tipo de cuenta, tokens de acceso y actualización, así como referencias a proveedores externos. Es clave para la autenticación y el control de acceso dentro de la aplicación.

Tabla 14. Estructura de la Tabla Account

Tabla Account		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
Description	varchar	Descripción del mapa
Id	varchar	Identificador único de la cuenta
userId	varchar	Id del usuario asociado con la cuenta
Type	varchar	Tipo de cuenta
providerAccountId	varchar	Identificador de la cuenta del proveedor
refresh_token	text	Token de actualización
access_token	text	Token de acceso
expires_at	int	Fecha de expiración del token

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Invoice

Contiene los datos de facturación generados por el sistema. Se registran aquí los identificadores de las facturas, el usuario y sensor asociado, así como la

tarifa aplicada y los periodos de facturación. Esta tabla es esencial para el control del consumo y el historial de pagos.

Tabla 15. Estructura de la Tabla Invoice

Tabla Invoice		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
Altitude	int	Altitud de la ubicación
Description	datetime	Descripción de la ubicación
Id	datetime	Identificador único de la factura
userId	float	Id del usuario asociado con la factura
sensorId	varchar	Id del sensor asociado con la factura
tarifald	datetime	Id de la tarifa utilizada en la factura
periodStart	datetime	Fecha de inicio del período de facturación
periodEnd	int	Fecha de fin del período de facturación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Location

Esta tabla guarda información geográfica y técnica sobre las ubicaciones de los sensores. Incluye coordenadas (latitud y longitud), el estado del sensor y la fecha de creación del registro. Es útil para el mapeo y monitoreo de puntos específicos dentro de la red de distribución.

Tabla 16. Estructura de la Tabla Location

Tabla Location		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
status	float	Estado del sensor
createdAt	varchar	Fecha de creación del sensor
id	int	Identificador único de la ubicación
latitude	varchar	Latitud de la ubicación
longitude	int	Longitud de la ubicación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Maps

Esta tabla almacena la información relacionada con los mapas que utiliza el sistema para representar geográficamente las zonas de consumo. Incluye datos como el nombre del mapa, un identificador único y el cargo fijo asociado a esa zona, si aplica.

Tabla 17. Estructura de la Tabla Maps

Tabla Maps		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
fixedCharge	int	Cargo fijo
id	int	Identificador único del mapa
name	varchar	Nombre del mapa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Payment

Contiene los registros de los pagos realizados por los usuarios. Aquí se detallan aspectos como el monto a pagar, el estado de la factura, la fecha en que fue emitida y su fecha de vencimiento. Esta información es clave para el seguimiento financiero del servicio.

Tabla 18. Estructura de la Tabla Payment

Tabla Payment		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
amountDue	int	Monto a pagar
status	float	Estado de la factura
issuedAt	datetime	Fecha en que se emitió la factura
dueDate	varchar	Fecha de vencimiento de la factura
id		Identificador único del pago

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Role

Registra los distintos roles de usuario dentro del sistema (por ejemplo, administrador, usuario final, técnico, etc.). Cada rol tiene un identificador único, un nombre y una descripción que permite definir los permisos y funciones asignadas dentro de la aplicación.

Tabla 19. Estructura de la Tabla Role

Tabla Role		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
id	int	Identificador único del rol
name	varchar	Nombre del rol
description	varchar	Descripción del rol

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Sensor

Esta tabla registra información técnica sobre los sensores utilizados para medir el consumo de agua. Incluye el identificador único del sensor, su nombre, tipo, y el usuario que ha iniciado sesión en el sistema a través del sensor, así como la fecha de expiración de dicha sesión. Esta información es esencial para el seguimiento del estado y uso de cada sensor conectado.

Tabla 20. Estructura de la Tabla Sensor

Tabla Sensor		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
userId	varchar	Id del usuario que ha iniciado la sesión
expires	datetime	Fecha de expiración de la sesión
id	int	Identificador único del sensor
name	float	Nombre del sensor
type	float	Tipo de sensor

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Session

Contiene los datos relacionados con las sesiones activas de los usuarios. Se almacenan aquí los tokens de sesión, el tipo de token y un identificador único por sesión. Esta tabla es importante para mantener la seguridad del sistema y gestionar el acceso autorizado a los diferentes módulos de la plataforma.

Tabla 21. Estructura de la Tabla Session

Tabla Session		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
token_type	varchar	Tipo de token
Id	varchar	Identificador único de la sesión
sessionToken	varchar	Token de sesión

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Tarifa

Esta tabla almacena la información relacionada con las tarifas aplicadas al consumo de agua. Contiene categorías, subcategorías, consumos mínimos y máximos, así como los cargos por consumo de agua y saneamiento. Además, incluye identificadores que permiten enlazar la tarifa con otros procesos del sistema.

Tabla 22. Estructura de la Tabla Tarifa

Tabla Tarifa		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
invokedId	int	Identificador relacionado con la invocación del consumo
Id	int	Identificador único de la tarifa
Category	varchar	Categoría de la tarifa
Subcategory	varchar	Subcategoría de la tarifa
minConsumption	float	Consumo mínimo asociado con la tarifa
maxConsumption	float	Consumo máximo asociado con la tarifa
waterCharge	float	Cargo por el consumo de agua
sewerageCharge	float	Cargo por saneamiento

Fuente: Elaboración propia.

Tabla User

Registra los datos de los usuarios del sistema. Entre los campos se encuentran el nombre, correo electrónico, DNI, contraseña, imagen de perfil y fecha de verificación del correo. Esta información es esencial para la autenticación, personalización del perfil y control de accesos dentro de la aplicación.

Tabla 23. Estructura de la Tabla User

Tabla User		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
id	varchar	Identificador único del usuario
name	varchar	Nombre del usuario
email	varchar	Correo electrónico del usuario
dni	varchar	Documento Nacional de Identidad
emailVerified	datetime	Fecha de verificación del correo electrónico
image	varchar	Imagen del usuario
password	varchar	Contraseña del usuario

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VerificationToken

Contiene los tokens generados para la verificación de cuentas de usuario. Incluye un identificador único, el token en sí, y la fecha de expiración del mismo. Esta tabla garantiza un proceso seguro de activación y validación de cuentas dentro del sistema.

Tabla 24. Estructura de la Tabla VerificationToken

Tabla VerificationToken		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
identifier	varchar	Identificador único del token de verificación
token	varchar	Token de verificación
expires	datetime	Fecha de expiración del token

Fuente: Elaboración propia.

Tabla WaterConsumption

Registra el historial de consumo de agua por parte de los usuarios. Incluye el identificador único del registro, la cantidad consumida, la fecha y hora en que se capturó la información, el número de serie del medidor, el usuario asociado, la tarifa aplicada y un indicador booleano que señala si el consumo fue invocado correctamente. Esta tabla es fundamental para llevar un control preciso y detallado del uso del servicio por parte de cada usuario.

Tabla 25. Estructura de la Tabla WaterConsumption

Tabla WaterConsumption		
Columna	Tipo de Dato	Descripción
id	Int	Identificador único del consumo de agua
amount	float	Cantidad de agua consumida
timestamp	datetime	Fecha y hora en que se registró el consumo
serial	varchar	Número de serie del medidor
userId	varchar	Id del usuario que realizó el consumo de agua
tarifald	Int	Id de la tarifa utilizada
invoked	boolean	Indicador de si se invocó el consumo

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de secuencia

Este diagrama representa el flujo de interacción entre los diferentes actores del sistema durante las principales operaciones que se realizan en la plataforma. Los actores que intervienen son los siguientes:

Usuario: Persona que utiliza el sistema para consultar su consumo, pagar facturas y ver reportes.

- **Administrador:** Encargado de gestionar usuarios, sensores, pagos y supervisar el funcionamiento del sistema.

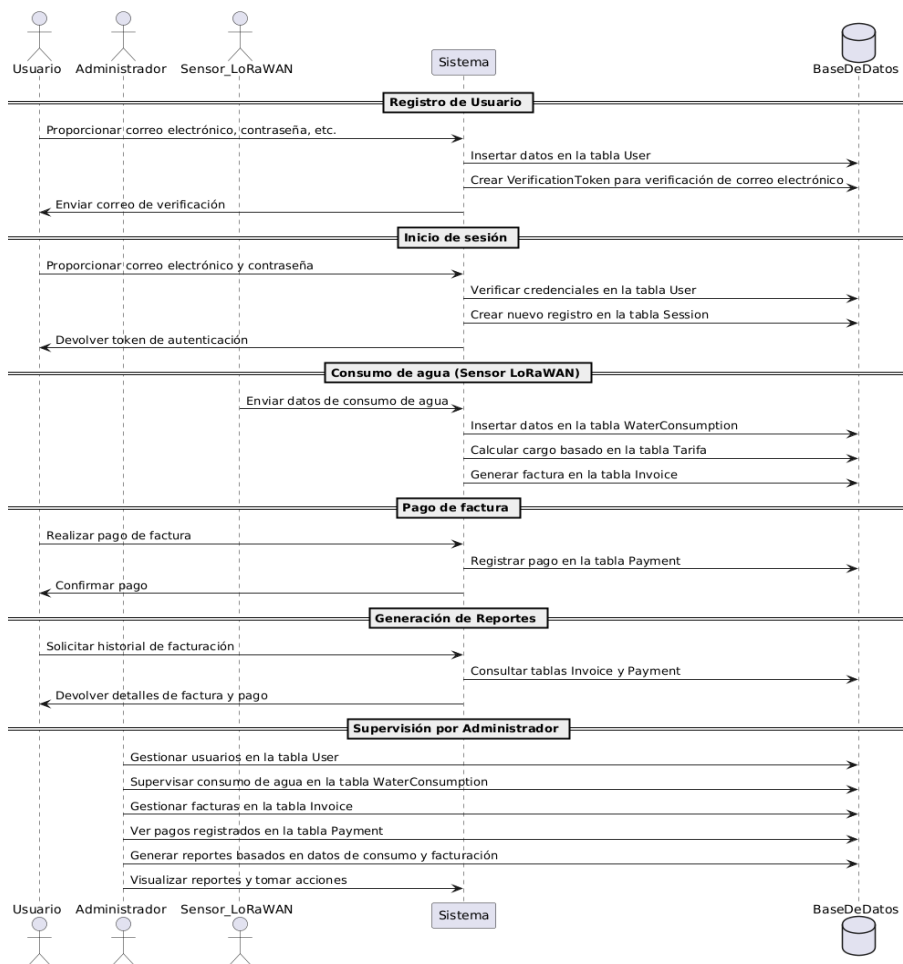
- Sensor LoRaWAN: Dispositivo que recopila datos de consumo de agua y los transmite al sistema.
- Sistema: Componente que gestiona los procesos internos, coordina las acciones de los actores y se comunica con la base de datos.
- Base de Datos: Almacena de forma estructurada toda la información generada en el sistema.

Las secuencias principales representadas son:

- Registro de usuario: El usuario proporciona su información de acceso. El sistema guarda estos datos en la tabla User y genera un token de verificación que es enviado por correo electrónico (VerificationToken).
- Inicio de sesión: El usuario se autentica con sus credenciales. El sistema valida los datos, genera un token de sesión y registra la actividad en la tabla Session.
- Consumo de agua (Sensor LoRaWAN): El sensor envía datos de consumo al sistema, que los registra en la tabla WaterConsumption. A partir de esta información se calcula el monto correspondiente según la tarifa vigente (Tarifa) y se genera una factura (Invoice).
- Pago de factura: El usuario realiza el pago y el sistema lo registra en la tabla Payment.
- Generación de reportes: El usuario o el administrador solicita el historial de consumo y pagos. El sistema consulta las tablas correspondientes y muestra la información solicitada.
- Supervisión del administrador: El administrador gestiona usuarios, sensores, facturas y pagos. Además, puede generar reportes que le permiten tomar decisiones en base al comportamiento del sistema.

Este diagrama muestra cómo se coordinan las acciones entre los distintos actores y cómo la automatización, gracias al uso de tecnologías IoT, permite optimizar el proceso de medición, facturación y supervisión del servicio de agua potable.

Figura 6. Diagrama de secuencia del sistema



Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo e implementación

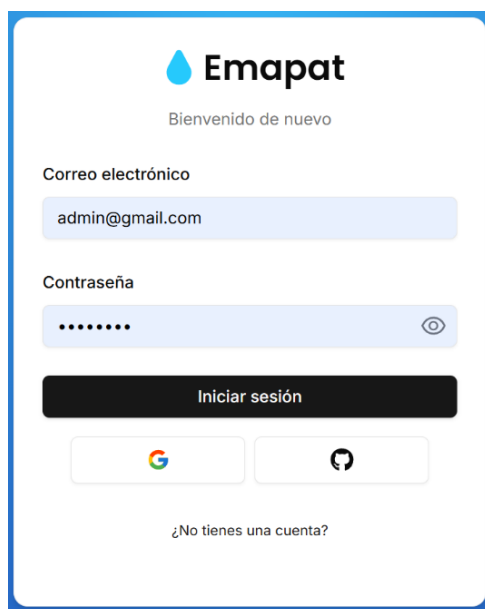
Patrón arquitectónico utilizado

Se utiliza el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC) para separar la lógica de negocio, la interfaz de usuario y la base de datos.

Principales interfaces gráficas

Login: Autenticación del usuario

Figura 7. *Interfaz de inicio de sesión*

La imagen muestra una interfaz de inicio de sesión para un sistema llamado 'Emapat'. El encabezado incluye el logo de Emapat (una gota azul) y el texto 'Bienvenido de nuevo'. Hay dos campos de entrada: 'Correo electrónico' con el valor 'admin@gmail.com' y 'Contraseña' con caracteres ocultos por puntos. Debajo de los campos está un botón negro con el texto 'Iniciar sesión'. En la parte inferior, hay dos botones blancos con los logos de Google y GitHub. Al final, hay un enlace que dice '¿No tienes una cuenta?'.

Fuente: Elaboración propia.

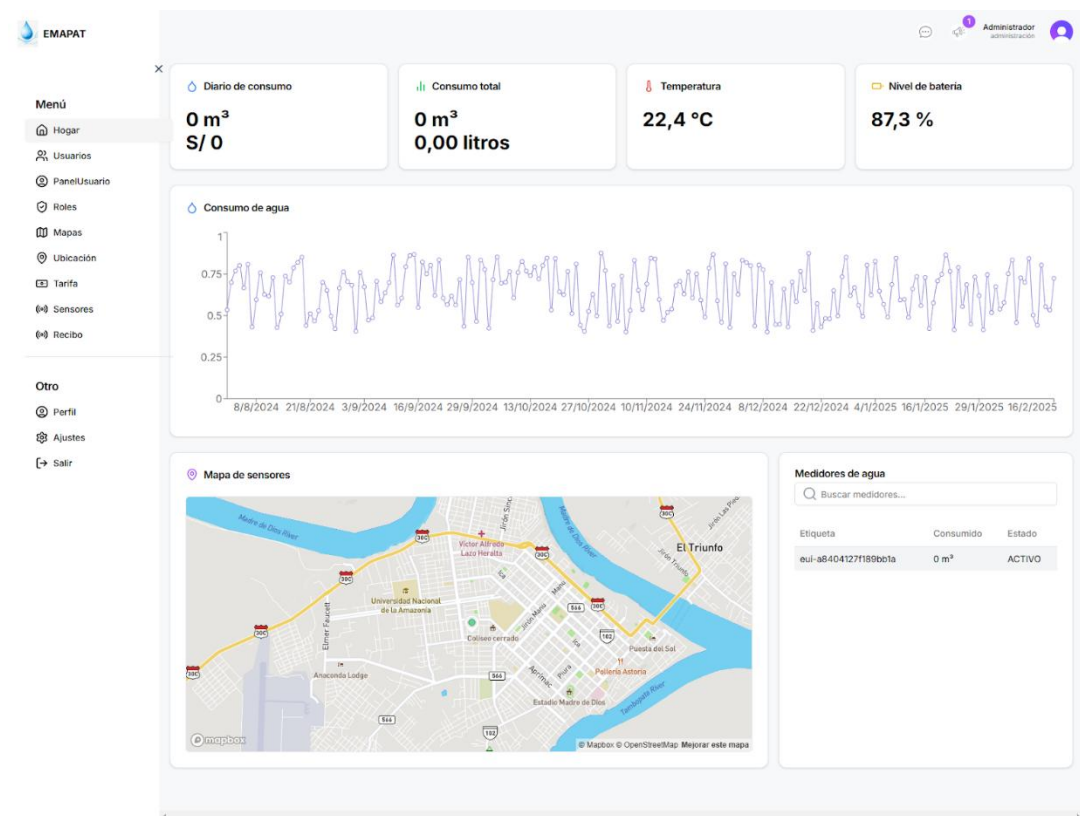
Descripción: Es la pantalla donde los usuarios y administradores ingresan sus credenciales (correo electrónico y contraseña) para acceder al sistema.

Elementos clave:

- Campos de entrada para correo electrónico y contraseña.
- Botón de inicio de sesión.
- Opción para recuperar la contraseña.

Dashboard principal (administrador-usuario)

Figura 8. Interfaz de dashboard principal



Fuente: Elaboración propia.

Descripción: Esta es la vista que se muestra al usuario o administrador después de iniciar sesión. Muestra resúmenes importantes como: Consumo diario y total de agua.

- Gráfico de consumo histórico de agua.
- Temperatura y estado de los sensores (batería, etc.).
- Mapa de los sensores y medidores de agua.

Elementos clave:

- Resúmenes de datos (consumo, temperatura, etc.).
- Gráficos históricos de consumo.
- Mapa interactivo con la ubicación de los sensores.

Vista de Perfil de Usuario

Figura 9. *Interfaz de perfil de usuario*

Fuente: Elaboración propia.

Descripción:

Esta vista proporciona a los usuarios registrados una interfaz para visualizar y gestionar su información personal, incluyendo sus datos de identificación y la actualización de credenciales. Está diseñada para mantener la seguridad de las cuentas mediante la gestión de contraseñas y visualizar la trazabilidad del perfil.

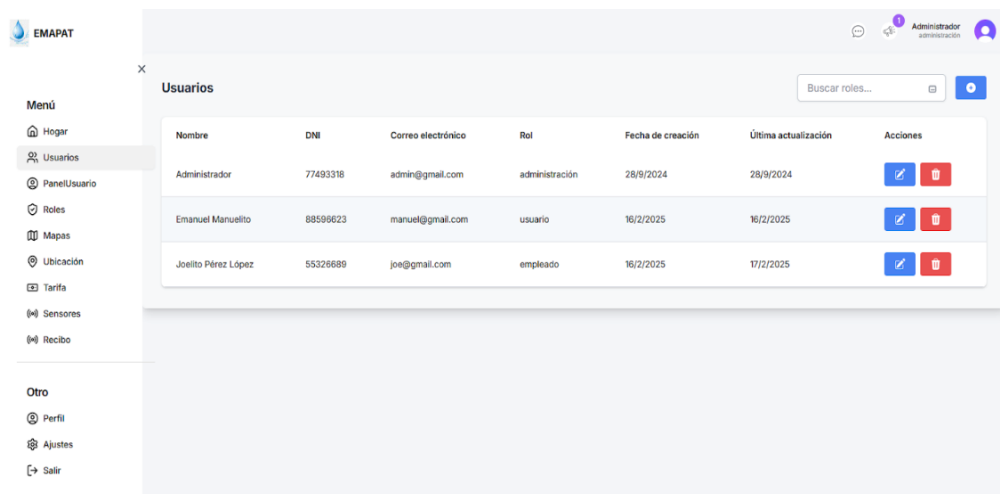
Elementos clave:

- **Información del perfil:** Muestra los datos del usuario, incluyendo nombre completo, correo electrónico, DNI, rol asignado dentro del sistema, fecha de creación del perfil y fecha de la última actualización.
- **Cambio de contraseña:** Panel exclusivo para actualizar la contraseña de acceso. Incluye campos para ingresar la contraseña actual, la nueva contraseña y su confirmación.
- **Requisitos de seguridad:** El sistema valida que la nueva contraseña tenga al menos 8 caracteres, garantizando un nivel básico de seguridad en la autenticación.
- **Botón “Actualizar contraseña”:** Permite guardar los cambios realizados en el formulario de contraseña, asegurando que el nuevo acceso sea efectivo inmediatamente después de la modificación.

- **Indicadores de actividad:** Incluye datos importantes como la fecha de creación de la cuenta y la última modificación realizada en el perfil, lo cual brinda control administrativo y transparencia al usuario.

Vista de Gestión de Usuarios (Para Administradores)

Figura 10. *Interfaz de vista de gestión de usuarios*



Fuente: Elaboración propia.

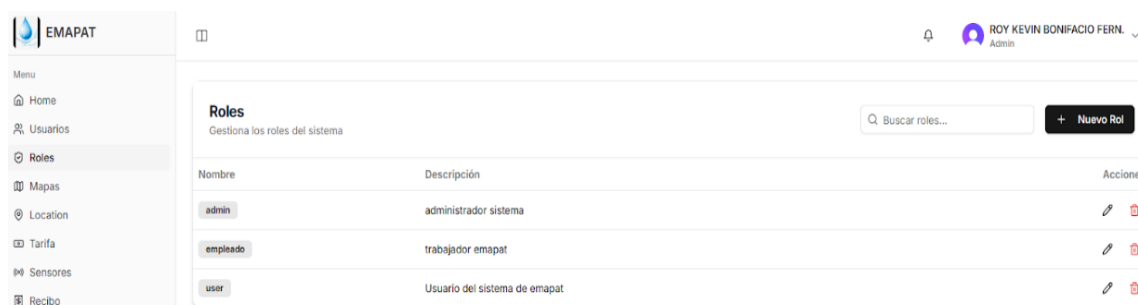
Descripción: Esta vista permite a los administradores gestionar los usuarios del sistema. Pueden ver, agregar, modificar o eliminar usuarios.

Elementos clave:

- Lista de usuarios.
- Botones para agregar, editar y eliminar usuarios.
- Filtros para buscar usuarios.
-

Vista de Roles (Para Administradores)

Figura 11. *Interfaz de vista de roles para administradores*



Fuente: Elaboración propia.

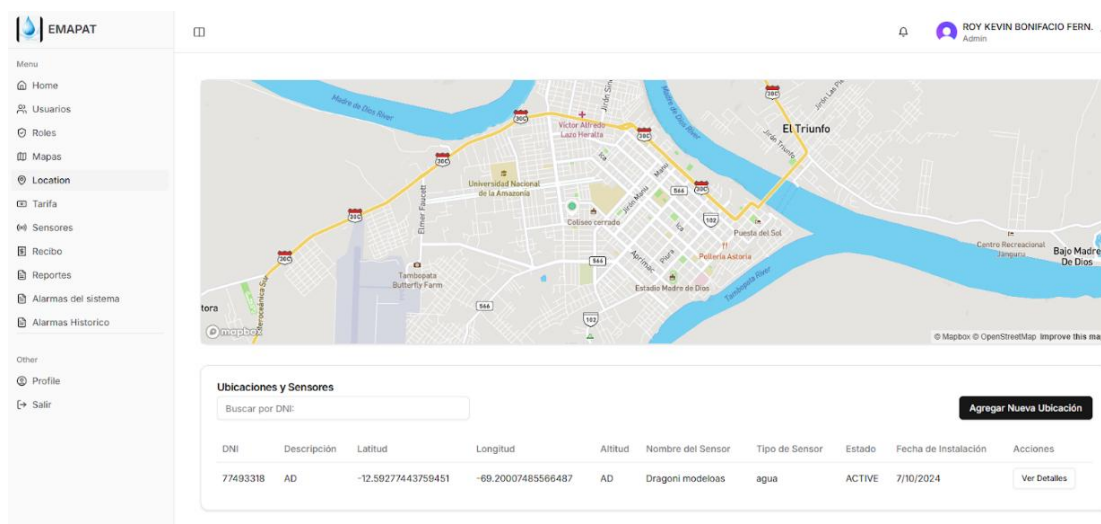
Esta vista permite a los administradores gestionar los distintos roles del sistema. A través de esta interfaz, se pueden definir, editar o eliminar los roles que determinan los permisos y funciones de los usuarios dentro de la plataforma.

Elementos clave:

- Lista de roles existentes: Muestra los roles registrados, incluyendo su nombre y una breve descripción.
- Botón "Nuevo Rol": Permite agregar un nuevo rol al sistema.
- Opciones de edición y eliminación: Cada rol tiene accesos directos para ser modificado o eliminado.
- Buscador: Campo de texto que permite filtrar roles por nombre.

Vista de ubicación y sensores (para Administradores)

Figura 12. Interfaz de vista de ubicación de sensores y registro



Fuente: Elaboración propia.

Esta vista permite visualizar y gestionar las ubicaciones geográficas donde se encuentran instalados los sensores del sistema. Se presenta un mapa interactivo que muestra las zonas cubiertas, y una tabla con la información detallada de cada sensor instalado, facilitando el monitoreo de su ubicación, estado y características.

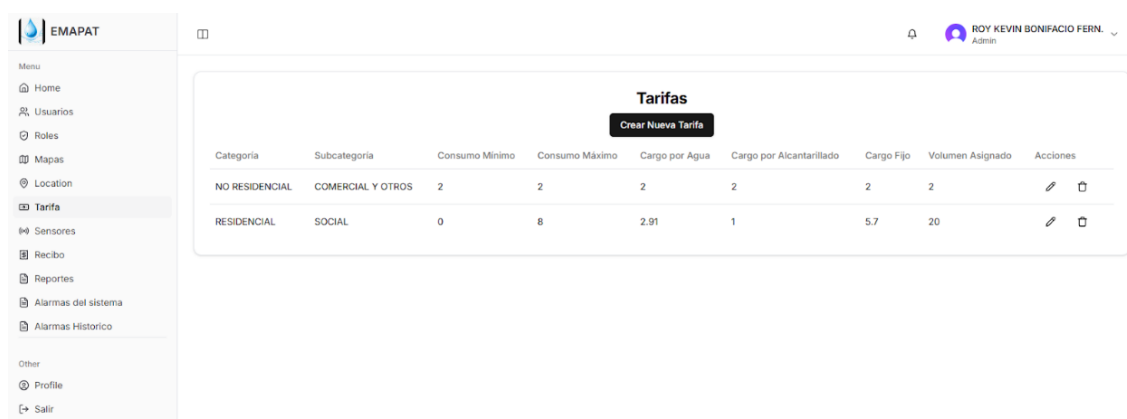
Elementos clave:

- Mapa integrado: Visualiza de forma geográfica la ubicación de los sensores en tiempo real mediante integración con servicios de mapas.

- Tabla de sensores: Muestra detalles como DNI del usuario asociado, descripción, coordenadas (latitud y longitud), altitud, nombre del sensor, tipo, estado y fecha de instalación.
- Buscador por DNI: Permite filtrar los registros en función del usuario vinculado a la ubicación.
- Botón "Agregar Nueva Ubicación": Facilita el registro de nuevas ubicaciones con sensores.
- Acción "Ver Detalles": Opción para acceder a información más específica de cada sensor.

Vista de Gestión de Tarifas (para Administradores)

Figura 13. Interfaz de gestión de tarifas



Tarifas								
Categoría	Subcategoría	Consumo Mínimo	Consumo Máximo	Cargo por Agua	Cargo por Alcantarillado	Cargo Fijo	Volumen Asignado	Acciones
NO RESIDENCIAL	COMERCIAL Y OTROS	2	2	2	2	2	2	✎ ✕
RESIDENCIAL	SOCIAL	0	8	2.91	1	5.7	20	✎ ✕

Fuente: Elaboración propia.

Esta vista permite al administrador gestionar las tarifas aplicadas al consumo de agua según categoría y subcategoría. Desde aquí se pueden consultar, registrar, modificar o eliminar tarifas que determinan los valores cobrados por el uso del servicio en función del volumen consumido y otros criterios técnicos.

Elementos clave:

- Tabla de tarifas registradas: Muestra información como categoría, subcategoría, consumo mínimo y máximo, cargo por agua, alcantarillado, cargo fijo y volumen asignado.
- Botón "Crear Nueva Tarifa": Permite añadir una nueva tarifa al sistema con todos los parámetros correspondientes.

- Opciones de edición y eliminación: Cada tarifa registrada puede ser modificada o eliminada mediante los botones de acción.
- Estructura clara: Los valores de cada tarifa están bien organizados para facilitar su comparación y análisis.

Vista de Gestión de Sensores (para Administradores)

Figura 14. *Interfaz de gestión de sensores*

Nombre	Tipo	Estado	Número de Medidor	Acciones
Dragon modeloas	agua	ACTIVE	eui-a8404127189bb1a	

Fuente: Elaboración propia.

Descripción:

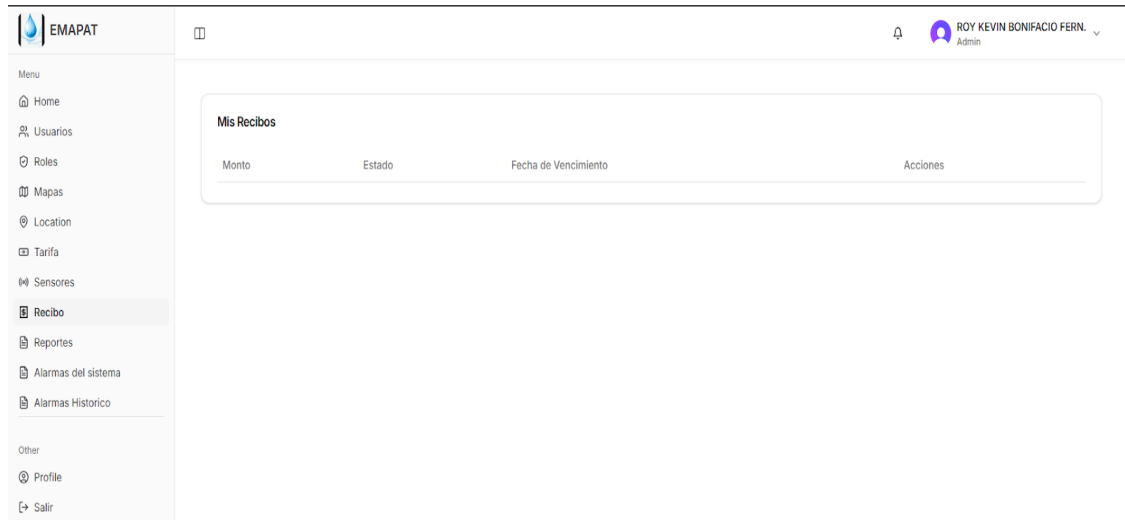
Esta vista permite a los administradores registrar, editar y eliminar sensores que forman parte del sistema de medición inteligente. Cada sensor contiene información relevante que permite su identificación, monitoreo y vinculación con un usuario o ubicación específica.

Elementos clave:

- Listado de sensores registrados: Incluye el nombre del sensor, tipo, estado operativo y número de medidor.
- Botón "Crear Nuevo Sensor": Permite agregar un nuevo sensor al sistema, asignando sus características principales.
- Acciones: Se pueden editar o eliminar sensores mediante los botones de acción disponibles en cada fila.
- Visualización rápida del estado: Se muestra si el sensor está activo o no, facilitando su control operativo.

Vista de Recibos del Usuario (para Administradores)

Figura 15. Interfaz de gestión de recibos



Fuente: Elaboración propia.

Descripción:

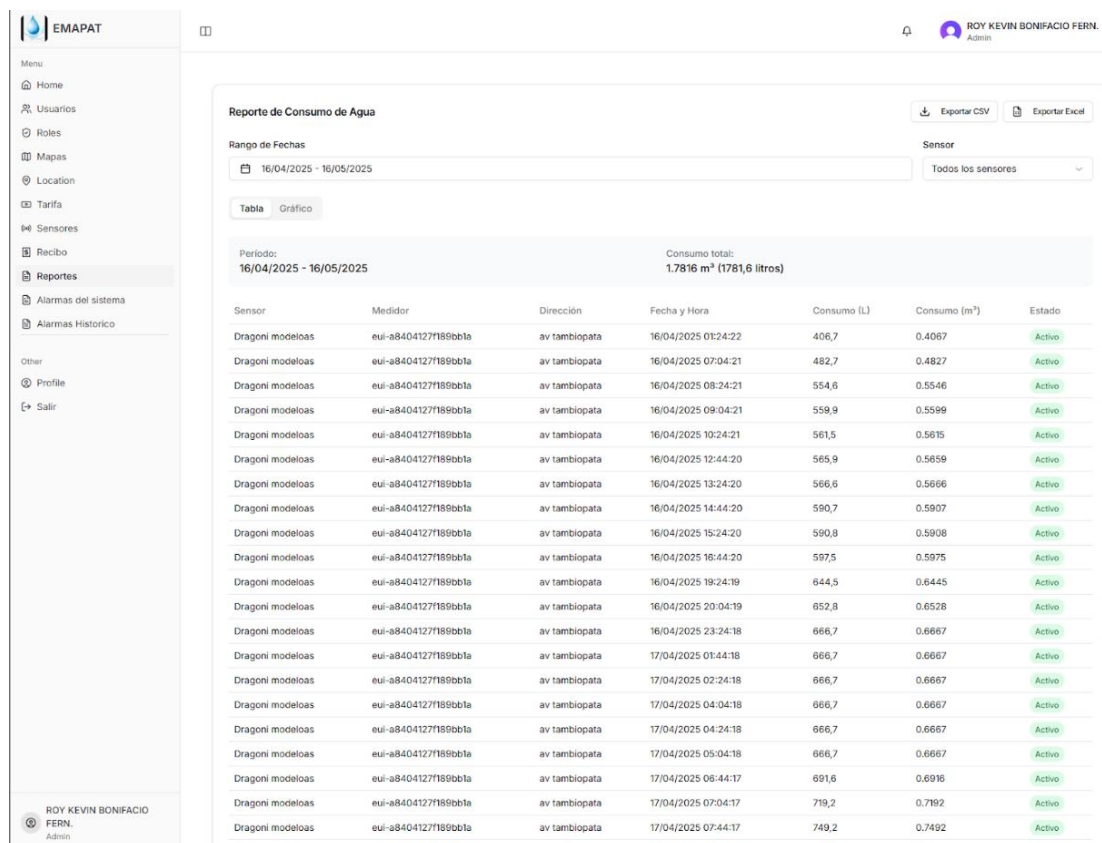
Esta vista muestra al usuario final un listado de sus recibos generados por el sistema, relacionados con el consumo de agua. Permite visualizar de manera clara los montos a pagar, el estado del recibo y la fecha límite para realizar el pago.

Elementos clave:

- **Listado de recibos:** Muestra columnas con el monto facturado, estado del pago (pendiente, pagado, vencido) y fecha de vencimiento.
- **Acciones:** Aunque no se visualizan en la imagen, esta sección podría incluir botones para visualizar detalles del recibo o realizar el pago (según diseño final).
- **Interfaz simplificada:** Diseñada para facilitar al usuario la consulta de su historial de pagos sin necesidad de conocimientos técnicos.

Vista de Reporte de Consumo de Agua (Para Administradores)

Figura 16. Interfaz de gestión de recibos



Fuente: Elaboración propia.

Descripción:

Esta vista permite visualizar de forma detallada el historial de consumo de agua captado por los sensores inteligentes. El administrador o usuario autorizado puede consultar el volumen total consumido en un rango de fechas determinado, segmentado por sensor, dirección, fecha y hora.

Elementos clave:

1. **Selector de rango de fechas:** Permite filtrar el reporte según el periodo deseado.
2. **Visualización tabular:** Muestra columnas con información como nombre del sensor, número de medidor, dirección, fecha y hora de registro, consumo en litros y metros cúbicos, y estado del sensor.
3. **Consumo total:** Calcula y muestra automáticamente el total acumulado del periodo en m³ y litros.

4. **Exportación de datos:** Opciones para descargar el reporte en formato CSV o Excel.
5. **Filtro por sensor:** Posibilidad de consultar los datos de todos los sensores o de uno específico.
6. **Vista alternativa en gráfico (no visible en la captura):** Posibilidad de cambiar la presentación de datos a formato gráfico para mejor análisis visual.

Vista de Configuración de Alarmas del Sistema (para Administradores-usuarios)

Figura 17. Interfaz de configuración de alarmas

The screenshot displays the 'Configuración de Alarmas' (Alarm Configuration) interface within the EMAPAT system. The interface is divided into three main sections:

- Límites de consumo (Consumption Limits):** This section contains two input fields for setting consumption thresholds. The first field is labeled 'Límite de consumo diario (m³)' (Daily consumption limit) and has a value of 0.2. The second field is labeled 'Límite de consumo semanal (m³)' (Weekly consumption limit) and has a value of 0.3.
- Activación de alarmas (Alarm Activation):** This section features two toggle switches. The first is labeled 'Alarma de consumo diario' (Daily consumption alarm) and is currently turned on. The second is labeled 'Alarma de consumo semanal' (Weekly consumption alarm) and is also turned on.
- Notificaciones (Notifications):** This section includes two toggle switches. The first is labeled 'Notificar por correo electrónico' (Notify by email) and is turned on. The second is labeled 'Notificar por SMS' (Notify by SMS) and is turned off.

At the bottom of the configuration area, a status message reads: 'Última actualización: 28/4/2025, 11:17:30' (Last update: 28/4/2025, 11:17:30). A top-right button labeled 'Editar configuración' (Edit configuration) is also visible.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción:

Esta vista permite a los administradores definir límites de consumo de agua y configurar el sistema de alertas automáticas. Su propósito es detectar situaciones anómalas o excesos en el uso del recurso, y emitir notificaciones según la configuración establecida.

Elementos clave:

1. **Límites de consumo:** Campos para establecer el umbral máximo de consumo diario y semanal en metros cúbicos (m³).
2. **Activación de alarmas:** Permite habilitar o deshabilitar las alertas correspondientes a los límites establecidos.
3. **Notificaciones:** Opción para definir el medio por el cual se enviarán las alertas, ya sea por correo electrónico o SMS.

4. **Botón “Editar configuración”:** Habilita la modificación de los parámetros previamente registrados.
5. **Información de última actualización:** Muestra la fecha y hora en la que se hizo la última modificación en la configuración.

Vista de Historial de Alarmas (para Administradores)

Figura 18. Interfaz de historial de alarmas

Fecha y Hora	Tipo de Alarma	Sensor	Valor	Umbral	Estado
16/5/2025, 11:43:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
16/5/2025, 11:40:06	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
15/5/2025, 11:43:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
15/5/2025, 11:40:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
14/5/2025, 11:43:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
14/5/2025, 11:40:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
13/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
13/5/2025, 11:40:08	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
12/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
12/5/2025, 11:40:06	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
11/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
11/5/2025, 11:40:06	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
10/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
10/5/2025, 11:40:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
9/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
9/5/2025, 11:40:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
8/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
8/5/2025, 11:40:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
7/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
7/5/2025, 11:40:06	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
6/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
6/5/2025, 11:40:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
5/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
5/5/2025, 11:40:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
4/5/2025, 11:43:03	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
4/5/2025, 11:40:05	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado
3/5/2025, 11:43:04	CRON_EXECUTION	N/A	0.00 m³	0.00 m³	Notificado

Fuente: Elaboración propia.

Descripción:

Esta vista muestra un registro completo de todas las alarmas generadas por el sistema, permitiendo al administrador llevar un control detallado de las notificaciones emitidas ante posibles excesos de consumo u otros eventos automatizados. Es una herramienta útil para la trazabilidad y auditoría del comportamiento del sistema.

Elementos clave:

1. **Listado cronológico:** Presenta las alarmas ordenadas por fecha y hora de ejecución.

2. **Tipo de alarma:** Indica la naturaleza de la alerta, por ejemplo, CRON_EXECUTION, correspondiente a tareas programadas de monitoreo.
3. **Sensor asociado:** Muestra el identificador del sensor que generó la alarma (en este caso no disponible).
4. **Valor y umbral:** Compara el valor registrado con el umbral preestablecido que activó la alarma.
5. **Estado de notificación:** Indica si la alerta fue correctamente enviada al usuario o administrador.

4.2. Impacto de LoRaWAN en la Transmisión de Datos

La red LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) mostró una gran eficiencia en la transmisión de datos entre el sensor IoT Dragino SW3L y el servidor de red, lo que permitió una medición inteligente del agua efectiva. Esta tecnología se utiliza debido a sus características de largo alcance, bajo consumo de energía y capacidad para manejar múltiples dispositivos en áreas extensas.

Ventajas de LoRaWAN:

- **Largo alcance:** LoRaWAN puede cubrir distancias de hasta 10 km en áreas urbanas y hasta 50 km en áreas rurales, lo que garantiza una conectividad robusta en zonas de difícil acceso donde otras tecnologías pueden no ser viables.
- **Bajo consumo energético:** La red LoRaWAN está diseñada para dispositivos de bajo consumo, lo que permite que los sensores operen durante años con una sola carga de batería, sin necesidad de mantenimiento frecuente.
- **Escalabilidad:** LoRaWAN permite añadir múltiples sensores sin comprometer el rendimiento de la red, lo que facilita la expansión futura del sistema.

Resultados:

- **Frecuencia de transmisión:** El sensor IoT envió los datos a la plataforma web cada 5 minutos. Este intervalo se eligió para equilibrar

la actualización frecuente de los datos con el bajo consumo energético necesario para que el sensor funcione durante largos períodos.

- **Velocidad de transmisión:** Los datos del sensor son transmitidos con latencia mínima, procesados y visualizados en la plataforma web en menos de 10 segundos. Este rápido tiempo de procesamiento garantiza que los usuarios y los administradores del sistema puedan recibir datos en tiempo real, facilitando la gestión eficiente y la detección temprana de problemas como el consumo excesivo de agua.

Pruebas realizadas:

- Durante la fase de prueba se envió un conjunto de datos de muestra cada 5 minutos desde el sensor a través de la red LoRaWAN hacia el servidor de The Things Network (TTN) y luego a la aplicación web para su procesamiento. Este ciclo de transmisión se repitió durante varios días consecutivos, asegurando la constancia y fiabilidad del sistema.
- **Latencia:** La latencia mínima observada fue de menos de 5 segundos desde que los datos fueron capturados por el sensor hasta que fueron procesados y mostrados en la plataforma web.
- **Rendimiento en condiciones de baja señal:** En áreas con señales débiles (como dentro de edificios o en zonas rurales), se realizó una prueba de cobertura que demostró que el sistema LoRaWAN mantuvo su capacidad para transmitir datos de manera confiable, sin pérdida de información, incluso en condiciones subóptimas.

Impacto en el negocio:

La implementación de la red LoRaWAN no solo mejora la precisión y fiabilidad de la medición inteligente, sino que también optimiza el rendimiento operativo al reducir la necesidad de infraestructura adicional. Además, el bajo consumo de energía del sistema reduce los costos operativos al no requerir mantenimiento frecuente de los sensores, lo que a su vez reduce costos para EMAPAT S.A. Gracias a la conectividad eficiente y la alta cobertura de LoRaWAN, la medición inteligente es ahora más accesible, incluso en áreas rurales y de difícil acceso.

Resumen de los resultados:

- Frecuencia de transmisión: Cada 5 minutos.
- Velocidad de transmisión: Latencia mínima, con procesamiento de datos en menos de 10 segundos.
- Alcance: Cobertura efectiva en zonas urbanas de hasta 10 km y en zonas rurales hasta 50 km.
- Eficiencia energética: El sistema IoT con LoRaWAN permite una operación continua con bajo consumo de batería durante años.

4.3. Comparación de la precisión de la medición inteligente del agua

Las mediciones del caudal de agua tomadas por el sensor IoT Dragino SW3L fueron comparadas con los datos obtenidos del medidor convencional. Se encontró una diferencia mínima entre ambos métodos de medición, que fue disminuyendo con el tiempo, lo que sugiere una calibración progresiva del sensor IoT.

Tabla 26. Comparación entre los valores de medición de consumo de agua

Fecha	Medidor convencional (m³)	Medidor inteligente (m³)	Diferencia (m³)
15/04/2025	0.2672	0.275	0.0078
16/04/2025	0.2784	0.284	0.0056
17/04/2025	0.2891	0.293	0.0039
18/04/2025	0.2975	0.301	0.0035
19/04/2025	0.3086	0.312	0.0034
20/04/2025	0.3142	0.317	0.0028
21/04/2025	0.3201	0.322	0.0019
22/04/2025	0.3264	0.328	0.0016
23/04/2025	0.3315	0.333	0.0015
24/04/2025	0.3364	0.337	0.0006

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis estadístico comparativo entre el medidor convencional y el medidor inteligente IoT Dragino SW3L, se calcularon los siguientes parámetros estadísticos para ambos sistemas de medición:

Tabla 27. Estadísticas descriptivas de la medición de consumo de agua:
Medidor Convencional vs. Medidor IoT

Parámetro	Medidor Convencional	Medidor Inteligente
Media	0.3069 m ³	0.3102 m ³
Desviación estándar	0.0236 m ³	0.0211 m ³
Valor mínimo	0.2672 m ³	0.2750 m ³
Valor máximo	0.3364 m ³	0.3370 m ³

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Primera. Se implantó un sistema web respaldado por tecnología IoT orientado a la medición eficiente del consumo de agua en la EPS EMAPAT S.A. La plataforma permite a los usuarios monitorear continuamente el volumen de agua utilizado, además de acceder a representaciones gráficas que simplifican el análisis de su consumo. Asimismo, se integraron funciones como visualización de recibos, generación de reportes históricos, notificaciones ante consumos elevados, pagos en línea y configuración de límites diarios, fortaleciendo la capacidad de autogestión del usuario y promoviendo un uso racional del recurso.

Segunda. Se implementó una infraestructura IoT que conecta sensores Dragino SW3L a través de una red LoRaWAN, estableciendo un canal de comunicación estable, eficiente y de largo alcance. La transmisión de datos fue gestionada mediante gateways LoRa y plataformas en la nube como The Things Network y TagoIO, garantizando una solución confiable y flexible. Esta arquitectura favorece la ampliación futura del sistema sin comprometer su rendimiento, siendo una base sólida para su escalabilidad.

Tercera. La solución tecnológica desarrollada superó las limitaciones del sistema tradicional de medición, brindando mayor precisión, continuidad en la recolección de datos y autonomía para los usuarios. Estos pueden recibir alertas en tiempo real, definir límites de consumo, revisar sus consumos pasados, emitir pagos digitales y acceder a sus recibos desde cualquier dispositivo conectado. Esta innovación mejora la eficiencia en la gestión del agua, reduce costos administrativos y promueve una cultura orientada al ahorro y responsabilidad en el uso del recurso hídrico.

SUGERENCIAS

Primera. Se recomienda expandir el alcance del sistema IoT a otras zonas urbanas y rurales de Puerto Maldonado, aprovechando la capacidad de cobertura amplia que ofrece la red LoRaWAN. Dado que esta tecnología permite la transmisión de datos a largas distancias con bajo consumo energético, su implementación en áreas más extensas facilitaría un monitoreo más eficiente del consumo de agua en toda la región. Esto no solo optimizaría el uso del agua, sino que también beneficiaría a más comunidades, promoviendo una gestión más sostenible del recurso hídrico en todo el ámbito geográfico de la EPS EMAPAT S.A.

Segunda. Se sugiere mejorar la personalización de las alertas y notificaciones en la plataforma web, brindando a los usuarios mayor control sobre la frecuencia y el tipo de notificación. Además de las alertas por correo electrónico y notificación push, se podría incorporar la opción de notificaciones SMS para usuarios sin acceso constante a Internet, asegurando que todos los usuarios reciban información crucial sobre su consumo de agua en tiempo real. Este enfoque aumentaría la efectividad de las alertas y garantizaría que los usuarios ajusten su consumo de manera oportuna.

Tercera. Se recomienda integrar herramientas de análisis predictivo, utilizando inteligencia artificial (IA) para detectar patrones y predecir anomalías en el consumo de agua. Estas herramientas permitirían identificar picos de consumo antes de que ocurran, optimizando la distribución de recursos y ayudando a EMAPAT S.A. a anticipar problemas como fugas o excesos de consumo. Además, se podrían generar alertas preventivas que avisen a los usuarios cuando su consumo esté por encima de lo normal, evitando sorpresas en sus facturas y mejorando la gestión proactiva del agua.

Cuarta. Se propone incorporar una sección de recomendaciones personalizadas en la plataforma web, basada en el análisis de los hábitos de consumo de cada usuario. Al generar sugerencias específicas para cada

usuario, como reducir el tiempo de ducha o ajustar el uso de electrodomésticos, se fomentaría un uso aún más eficiente del agua. Esta funcionalidad proporcionaría una orientación directa para los usuarios, ayudando a optimizar su consumo de manera concreta y efectiva.

Quinta. A pesar de los avances tecnológicos, se recomienda reforzar la educación y capacitación de los usuarios mediante campañas de sensibilización sobre el uso responsable del agua. Es importante que los usuarios comprendan cómo sus hábitos diarios afectan el consumo global de agua, y cómo pueden hacer un uso más responsable del recurso. Las campañas podrían incluir talleres, material educativo en línea y comunicaciones regulares que refuercen los beneficios de reducir el desperdicio de agua.

Sexta. Para garantizar la sostenibilidad y confiabilidad del sistema, se sugiere la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para los sensores IoT y los sistemas de comunicación LoRaWAN. La calibración periódica de los sensores y la actualización del software permitirán mantener la precisión de las mediciones, evitando errores en el análisis y garantizando la fiabilidad del sistema en el largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL AZIZ, N. A. A. et al., 2022. Smart Water Network Monitoring: a Case Study At Universiti Teknologi Malaysia. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLVI-4/W3-, no. October 2021, pp. 3–7. DOI 10.5194/isprs-archives-xlvi-4-w3-2021-3-2022.
- ADAM, Stenly Ibrahim and ANDOLO, Stevani, 2019. A New PHP Web Application Development Framework Based on MVC Architectural Pattern and Ajax Technology. *2019 1st International Conference on Cybernetics and Intelligent System, ICORIS 2019*. pp. 45–50. DOI 10.1109/ICORIS.2019.8874912.
- AL-ALI, A. R. et al., 2018. An IoT-Based Smart Utility Meter. *2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities, ICSGSC 2018*. pp. 80–83. DOI 10.1109/ICSGSC.2018.8541314.
- AL-MADHRAHI, Raad et al., 2021. An Efficient IoT-based Smart Water Meter System of Smart City Environment. *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications* [online]. Vol. 12, no. 8, p. 9. Retrieved from : www.ijacsa.thesai.org [accessed 2 June 2023].
- AMAZON WEB SERVICE, 2023. ¿Qué es una aplicación web? - Explicación de las aplicaciones web - AWS. [online]. 2023. Retrieved from : <https://aws.amazon.com/es/what-is/web-application/> [accessed 27 November 2023].
- Analyzing the Impact of Next.JS on Site Performance and SEO, 2023 *International Journal of Computer Applications Technology and Research*. DOI 10.7753/IJCATR1210.1004.
- ARSENE, Diana et al., 2022. Advanced Strategies for Monitoring Water Consumption Patterns in Households Based on IoT and Machine Learning. *Water* 2022, Vol. 14, Page 2187. Vol. 14, no. 14, p. 2187. DOI 10.3390/W14142187.
- BAMONDE CHECA, Francisco Alexander & and PULACHE GOMEZ, Jesus Elizabeth, 2021. *FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA “ Sistema de Control de Consumo de Agua Doméstico enfocado. .*

- BANK, Inter American Development, CARIBE, Centro del Agua para América Latina y el and MONTERREY, Tecnológico de, 2018. Agua y ciudades en América Latina: Retos para el desarrollo sostenible. *Agua y ciudades en América Latina: Retos para el desarrollo sostenible*. DOI 10.18235/0001107.
- BARRIO ANDRÉS, Moisés, 2020. Internet de las cosas (2a. ed.). *Internet de las cosas (2a. ed.)* [online]. p. 20. Retrieved from : <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/185096?page=20> [accessed 14 November 2023].
- BOYLE, Thomas et al., 2013. Intelligent Metering for Urban Water: A Review. *Water* 2013, Vol. 5, Pages 1052-1081. Vol. 5, no. 3, pp. 1052–1081. DOI 10.3390/W5031052.
- BUTLER, D. et al., 2014. A New Approach to Urban Water Management: Safe and Sure. *Procedia Engineering*. Vol. 89, pp. 347–354. DOI 10.1016/J.PROENG.2014.11.198.
- CACERES VALCARCEL, Chelsia Sheylla and AYACHI MALAGA, Jhon Lee, 2021. *Sistema basado en internet de las cosas para el monitoreo de consumo de energía eléctrica doméstica en Puerto Maldonado - 2021* [online]. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Retrieved from : <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/1083> [accessed 21 May 2025].
- CARBAJAL AZCONA, Ángeles and GONZÁLES FERNÁNDEZ, María, 2012. Propiedades y funciones biológicas del agua. 2012 [online]. 2012. Retrieved from : <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf> [accessed 21 May 2025].
- CHEN, Songtao et al., 2019. Front-End Development in React: An Overview. *Engineering International*. Vol. 7, no. 2, pp. 117–126. DOI 10.18034/EI.V7I2.662.
- DAVIDSON, Hauber and IDRIS, E, 2006. Smart water metering. *academia.edu* [online]. pp. 38–41. Retrieved from : <https://www.academia.edu/download/6239032/wcg-smartwater-article.pdf> [accessed 31 August 2023].
- DIXIT, Nayan et al., 2024. International Journal of Research Publication and Reviews REVOLUTIONIZING WEB DESIGN WITH TAILWIND CSS: A

COMPREHENSIVE EXPLORATION. *International Journal of Research Publication and Reviews* [online]. No. 5. Retrieved from : www.ijrpr.com [accessed 21 May 2025].

DRAGINO TECHNOLOGY CO., Ltd., 2010. SW3L LoRaWAN Outdoor Flow Sensor. [online]. 2010. Retrieved from : <https://www.dragino.com/products/water-meter-flow-sensor/item/222-sw3l.html> [accessed 21 May 2025].

EMAPAT, 2010. PLAN MAESTRO OPTIMIZADO 2010-2040. . . 2010.

EMAPAT, 2019. Memoria Anual 2019 Primera Version. . . 2019.

FERNÁNDEZ CASADO, Pablo E., 2023. Construcción y diseño de páginas web con HTML, CSS y JavaScript. [online]. p. 307. Retrieved from : <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaupl/titulos/235052> [accessed 14 March 2024].

FLÓREZ FERNÁNDEZ, Héctor and HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, Jorge, 2021. *Aplicaciones web con PHP*. . RA-MA Editorial.

GUPTA, Aditya Dinesh et al., 2020. Smart Water Technology for Efficient Water Resource Management: A Review. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 6268. Vol. 13, no. 23, p. 6268. DOI 10.3390/EN13236268.

HENRY, Fuentes, 2021. *Sistema de medición inteligente de consumo de agua en hogares usando IoT y Cloud Computing*. ISBN 0000000162081.

HUANG, Shu Qiang and ZHANG, Huan Ming, 2008. Research on improved MVC design pattern based on struts and XSL. *2008 International Symposium on Information Science and Engineering, ISISE 2008*. Vol. 1, pp. 451–455. DOI 10.1109/ISISE.2008.252.

INEI, 2020. Peru: Formas de Acceso al agua y saneamiento Basico. . No. Acceso al agua para el consumo humano, p. 70.

KRANCH, Michael and BONNEAU, Joseph, 2015. Upgrading HTTPS in Mid-Air: An Empirical Study of Strict Transport Security and Key Pinning. . DOI 10.14722/ndss.2015.23xxx.

L.F. SANTIAGO GONZÁLEZ et al., 2021. Aplicación Web Basada en el Patrón de Arquitectura de Software Modelo-Vista- Controlador (MVC) para Incrementar el Desempeño Académico en la Asignatura de Matemáticas Básicas. *Tecnología Educativa Revista CONAIC*. Vol. 8, no. 1, pp. 7–21. DOI 10.32671/TERC.V8I1.187.

- LI, Jiada, YANG, Xiafei and SITZENFREI, Robert, 2020. Rethinking the Framework of Smart Water System: A Review. *Water* 2020, Vol. 12, Page 412. Vol. 12, no. 2, p. 412. DOI 10.3390/W12020412.
- LOZADA, José, 2014. *Investigación Aplicada: Definición , Propiedad Intelectual e Industria* [online]. Retrieved from : file:///C:/Users/Lia Alicia/Downloads/Dialnet-InvestigacionAplicada-6163749 (1).pdf
- LUJÁN MORA, Sergio, 2002. *Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web* [online]. Editorial Club Universitario. ISBN 978-84-8454-206-3. Retrieved from : <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/16995> [accessed 31 August 2023].
- MARQUEZ, Mercedes, 2013. *Bases de datos* [online]. Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions. ISBN 9788469301463. Retrieved from : https://www.academia.edu/32101347/Bases_de_Datos_Mercedes_Marquez_pdf [accessed 15 March 2024].
- MAURO, Anna Di et al., 2020. Development of an IoT System for the Generation of a Database of Residential Water End-Use Consumption Time Series. *Environmental Sciences Proceedings 2020*, Vol. 2, Page 20. Vol. 2, no. 1, p. 20. DOI 10.3390/ENVIRONSCIPROC2020002020.
- MORALES-ALVAREZ, Juan Pablo et al., 2023. Sistema de monitoreo LoRaWAN de consumo de agua. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*. Vol. 11, no. Especial2, pp. 183–189. DOI 10.29057/ICBI.V11IESPECIAL2.10686.
- MORALES, J.P. et al., 2023. Sistema de monitoreo LoRaWAN de consumo de agua LoRaWAN monitoring system for water consumption. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo* [online]. pp. 185–186. Retrieved from : <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/10686/10540>
- NACIONES UNIDAS, 2021. Agua | Naciones Unidas. [online]. 2021. Retrieved from : <https://www.un.org/es/global-issues/water> [accessed 27 November 2023].
- NEXT.JS ON VERCEL, 2015. Next.js on Vercel. [online]. 2015. Retrieved from : <https://vercel.com/docs/frameworks/nextjs> [accessed 21 May 2025].

OMS, 2022. Miles de millones de personas se quedarán sin acceso a servicios de agua potable, saneamiento e higiene antes de 2030 a menos que el progreso se multiplique por cuatro, advierten la OMS y UNICEF. . . 2022.

PAULA, Heitor T. L. de and GOMES, Joao B. A., 2019. An IoT-Based Water Monitoring System for Smart Buildings | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. *2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)* [online]. p. 6. Retrieved from : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8756905> [accessed 4 June 2023].

PÉREZ RODRÍGUEZ, Maria Dolores, 2012. Introduccion al lenguaje HTML 5. [online]. p. 213. Retrieved from : <https://elibro.net/es/lc/uteq/titulos/225270> [accessed 27 November 2023].

PUJADAS, Andreu Marfull, 2017. El método hipotético-deductivo de Karl Popper – FU. 2017 [online]. 2017. Retrieved from : <https://andreumarfull.com/2019/12/18/el-metodo-hipotetico-deductivo/> [accessed 24 November 2023].

RAK7258 WisGate Edge Lite Datasheet, [online]. Retrieved from : <https://docs.rakwireless.com/product-categories/wisgate/rak7258/datasheet/> [accessed 21 May 2025].

RAY, Aritra and GOSWAMI, Shreemoyee, 2020. IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System. *2020 International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and its Control, PARC 2020*. pp. 308–313. DOI 10.1109/PARC49193.2020.236616.

RECHARTS, 2015. recharts/recharts: Redefined chart library built with React and D3. [online]. 2015. Retrieved from : <https://github.com/recharts/recharts> [accessed 21 May 2025].

SAMPIERI, R. Hernandez;, COLLADO, C. fernandez et al and MARIA DEL PILAR, L. Baptista, 2014. *Metodologia de la Investigacion*. ISBN 9781456223960.

SANCHEZ-IBORRA, Ramon and CANO, Maria Dolores, 2016. State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services. *Sensors 2016, Vol. 16, Page 708*. Vol. 16, no. 5, p. 708. DOI 10.3390/S16050708.

SARRAF, Rajan et al., 2020. IoT BASED SMART QUALITY WATER

MANAGEMENT SYSTEM. .

SEDAPAL, 2022. Sedapal presento registros de consumo de agua de los distritos de lima y callao. . . 2022.

TEODORO NICOMEDES, Nieto Esteban, 2018. Tipos de investigación. . pp. 1–4.

THE THINGS NETWORK, 2014. The Things Network. [online]. 2014. Retrieved from : <https://www.thethingsnetwork.org/> [accessed 21 May 2025].

VILLACÍS-GUERRERO, Jacqueline del Pilar et al., 2022. Residential Water Consumption Monitoring System Using IoT and MQTT Communication. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Vol. 13381 LNCS, pp. 518–533. DOI 10.1007/978-3-031-10548-7_38/COVER.

YANG, Lili et al., 2017. Domestic water consumption monitoring and behaviour intervention by employing the internet of things technologies. *Procedia Computer Science*. Vol. 111, pp. 367–375. DOI 10.1016/j.procs.2017.06.036.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Operacionalización de las variables

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente: Aplicación web basada en IoT Las aplicaciones web se puede definir como una aplicación en la cual un usuario por medio de un navegador realiza peticiones a una aplicación remota accesible a través de Internet y que recibe una respuesta que se muestra en el propio navegador (Luján Mora 2002). Una aplicación web basada en el Internet de las cosas (IoT) utiliza dispositivos y sensores conectados para recopilar, procesar y presentar datos a través de una interfaz web.	La aplicación web basada en IoT se medirá con Apache JMeter, herramienta para realizar pruebas de carga y estrés.	Rendimiento	- Prueba de carga - Prueba de estrés
Variable dependiente: Medición inteligente del agua La medición inteligente del agua permite determinar en tiempo real o casi real el consumo de agua y ofrece la posibilidad de leer el consumo tanto a nivel local como a distancia (Boyle et al. 2013)	La medición inteligente del consumo de agua se medirá con un sensor de flujo de agua con tecnología LoRaWAN.	Técnicas	- Caudal de agua - Fuente de energía
		Datos	- Frecuencia de medición - Volumen acumulado
		Conectividad	- Velocidad de transmisión - Frecuencia de transmisión

Anexo 2. Matriz de consistencia

Título: “Aplicación web basado en IoT para medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado, 2023”				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES/ INDICADORES	METODOLOGIA
General ¿En qué medida la aplicación web basado en IoT influirá en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado? Específicos ¿Cómo el desarrollo de una aplicación web basado en IoT influirá en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado? ¿Cómo una red de comunicación LoRaWAN influirá en la transmisión de datos de	General Determinar en qué medida la aplicación web basado en IoT influye en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado. Específicos - Desarrollar una aplicación web basado en IoT para la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado. - Implementar una red de comunicación LoRaWAN para la transmisión de datos de la medición inteligente a un servidor de red.	General La aplicación web basado en IoT influye significativamente en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado. Específicos - El desarrollo de una aplicación web basado en IoT influye significativamente en la medición inteligente del agua en la EPS EMAPAT S.A. de la ciudad de Puerto Maldonado - La implementación de una red de comunicación LoRaWAN influye	Variable independiente: Aplicación web basado en IoT Dimensiones/ Indicadores: D1. Rendimiento - Prueba de carga - Prueba de estrés Variable dependiente: Medición inteligente del agua Dimensiones/ Indicadores: D1. Técnicas - Caudal de agua - Fuente de energía D2. Datos - Frecuencia de medición - Volumen acumulado D3. Conectividad	Nivel: Aplicativo Enfoque: Cuantitativo Diseño: Descriptivo comparativo Unidad de análisis: Instrumentos de medición $M_1 \rightarrow O_1$ $M_2 \rightarrow O_2$ Donde: M₁: Medidor convencional M₂: Sensor inteligente Técnica: Observación Instrumento:

la medición inteligente a un servidor de red? 3. ¿Qué diferencias existen entre la medición del consumo de agua con el medidor convencional y empleando el nodo sensor de flujo de agua?	3. Comparar la medición del consumo de agua con el medidor convencional y empleando el nodo sensor de flujo de agua.	significativamente en la transmisión de datos de la medición inteligente a un servidor de red. 3. La medición del consumo de agua con el medidor convencional tiene más limitaciones que empleando el nodo sensor de flujo de agua.	- Velocidad de transmisión - Frecuencia de transmisión	Ficha de Observación Población y muestra: La población y muestra estará constituida por todos los datos recopilados en la medición inteligente del agua.
--	---	---	---	--

Anexo 3. Reporte de Recolección de Datos Generado por el Sistema Web

REPORTE DE REGISTRO DETALLADO DE CONSUMO MEDIDOR IOT																	
EMAPAT 2025																	
Sensor	Nº Medidor	Código Cliente	Actividad	Dirección	Referencia	Urbanización	Ciclo	Ruta	Cod. Catastral	Secuencia	RUC	Fecha Instalación	Fecha y Hora	Consumo (L)	Consumo (m³)	Tarifa	Estado
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 09:44:25	267.2	0.2672	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 10:04:25	268	0.2680	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 12:04:25	272	0.2720	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 13:04:25	280.5	0.2805	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 14:24:24	295.2	0.2952	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 15:04:24	295.9	0.2959	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 16:44:24	305.7	0.3057	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 17:04:24	316.4	0.3164	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 17:24:24	316.9	0.3169	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 18:44:24	336.4	0.3364	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 21:04:23	363.7	0.3637	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 21:24:30	366.1	0.3661	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	15/04/2025 23:44:23	395.5	0.3955	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 01:24:22	406.7	0.4067	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 07:04:21	482.7	0.4827	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 08:24:21	554.6	0.5546	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 09:04:21	559.9	0.5599	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 10:24:21	561.5	0.5615	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 12:44:20	565.9	0.5659	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 13:24:20	566.6	0.5666	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 14:44:20	590.7	0.5907	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo
Dragoni modelos	eui-a8404127f189bb1a	1	SOCIAL	av tambopata	Al lado de la iglesia de los milagros	Las piedras	001	40	0010010030280043801	4240	10774933188	08/10/2024	16/04/2025 15:24:20	590.8	0.5908	RESIDENCIAL - SOCIAL	Activo

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Anexo 3. Instrumentos de recolección de datos
Ficha de Registro: Comparación de Consumo de Agua

FICHA DE REGISTRO			
Tipo de prueba	Prueba comparativa		
Investigador	Bach. Bonifacio Fernández, Roy Kevin Bach. Quispe Álvaro, Ruth Karina.		
Empresa	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tambopata (EMAPAT S.A.).		
Proceso Observado	Comparación de medición de consumo de agua mediante medidor convencional y medidor inteligente IoT (Dragino SW3L).		
Fecha	Medidor convencional (m³)	Medidor inteligente (m³)	Diferencia (m³)
15/04/2025	0.2672	0.275	0.0078
16/04/2025	0.2784	0.284	0.0056
17/04/2025	0.2891	0.293	0.0039
18/04/2025	0.2975	0.301	0.0035
19/04/2025	0.3086	0.312	0.0034
20/04/2025	0.3142	0.317	0.0028
21/04/2025	0.3201	0.322	0.0019
22/04/2025	0.3264	0.328	0.0016
23/04/2025	0.3315	0.333	0.0015
24/04/2025	0.3364	0.337	0.0006

Anexo 4. Evidencia Fotográfica de la Instalación del Sensor en Campo

Ilustración 1 La imagen presentada muestra el entorno físico real donde se realizó la instalación del sensor Dragino SW3L en una caja de medidor de agua, ubicada sobre la vereda pública frente a una vivienda residencial. La fotografía fue tomada durante la etapa de implementación del prototipo y evidencia el despliegue en condiciones reales del sensor inteligente para la recolección de datos.



Ilustración 2 La imagen muestra en primer plano el sensor inteligente Dragino SW3L instalado directamente sobre una red de conexión domiciliaria de agua potable. La fotografía evidencia la integración física del sensor con la tubería de polietileno y el acople con medidor mecánico preexistente. El cableado del sensor se observa conectado correctamente y alineado con la caja estanca de transmisión LoRaWAN.



Este tipo de instalación permite validar la compatibilidad de la solución IoT con infraestructura existente y refleja fielmente las condiciones operativas en las que el sistema recolecta datos de consumo en tiempo real. La imagen forma parte del proceso de verificación de campo documentado en el Capítulo IV, sección 4.3 de la tesis.

También se aprecia el entorno húmedo y el estado natural del terreno donde opera el sistema, lo que permite validar la resistencia y funcionamiento del sensor en condiciones reales de uso urbano.